

291



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN  
SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO *IN SITU*  
PARA AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL  
CAMPUS UNIVERSITARIO”**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

**URIEL MANCEBO DEL CASTILLO STERNENFELS**



DIRECTOR DE TESIS

DR. ADALBERTO NOYOLA ROBLES

MÉXICO, D.F.

60678

1998

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-089/97

Señor  
**URIEL MANCEBO DEL CASTILLO STERNENFELS**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. ADALBERTO NOYOLA ROBLES**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

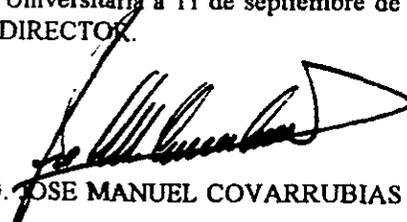
**"EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO IN SITU PARA AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL CAMPO UNIVERSITARIO"**

- I EL AGUA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MEXICO**
- II PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- III EL AGUA EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO**
- IV. LICITACION DE CONCURSO "CONSTRUCCION Y/O ADECUACION DE 26 FOSAS SEPTICAS CON POSTRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO**
- V. BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- VI CONCLUSIONES ANEXO**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 11 de septiembre de 1997.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*lmf

A mi madre:

Lourdes Gabriela Sternenfels Davidovich

Por todo el cariño de que me has rodeado siempre  
y por tu gran ejemplo de valor y empuje.

Para ti, todo mi amor y mi gratitud.

A mi padre:

Ing. Domingo Uriel Mancebo del Castillo y Mancebo  
del Castillo

Por todo lo que como persona me has dejado  
aprender y por que como profesional en ti  
encuentro una muestra de ética y constante  
superación.

A ambos por haber hecho posible este logro.

A mi hermana:

Gabriela Mancebo del Castillo Sternenfels

Por todo tu cariño y confianza.

Nuestra amistad siempre nos conservará juntos.

A mi abuelita:

Georgina Davidovich García

Por todo el apoyo y la ternura que en este tiempo me has dado.

A mi novia:

Brenda Mendoza González

Por todo lo que para mi significas.

Un especial agradecimiento al Dr. Adalberto Noyola Robles por su dirección y confianza para la elaboración de esta tesis.

A Santiago y Pepe, por su valiosa ayuda y consejos para la realización de este trabajo.

Al M.I. Gabriel Moreno Pecero y al Ing. Fernando Ruiz Olivares por todo su apoyo e invaluable amistad.

A ambos, mi mas sincero agradecimiento.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser la institución que me brindó la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Mi agradecimiento, respeto y una enorme GOYA.

A la Facultad de Ingeniería, en donde en cinco años de grandes experiencias, tuve la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniero Civil.

A todos mis profesores, por compartirme sus valiosos conocimientos, permitiéndome alcanzar esta meta.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por haber contribuido en mi formación como profesionista.

A todos mis amigos y compañeros, con quienes compartí grandes momentos tanto en la Facultad como en el Instituto.

Gracias.

**CONTENIDO**

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>Página</b> <b>I</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>

**CAPÍTULO 1****EL AGUA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM).**

1.1 Problemática del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México.	3
1.1.1 Captación, conducción y distribución	4
1.1.2 Calidad del agua proveniente de las fuentes de abastecimiento y potabilización de la misma.	5
1.1.3 Recolección y saneamiento de aguas residuales.	6
1.1.4 Problemática de la salud pública asociada al agua en la ZMVM.	7
1.2 Normatividad en materia de aguas residuales en México.	9

**CAPÍTULO 2****PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

2.1 Panorama general.	11
2.2 Procesos aerobios.	12
2.3 Procesos anaerobios.	16

2.4 Sistemas de disposición de aguas residuales <i>in situ</i> .	20
2.4.1 Necesidad de su uso.	20
2.4.2 Descripción de sistemas de tratamiento <i>in situ</i> .	21
2.4.3 Funcionamiento y tipos de fosas sépticas.	25
2.4.4 Ventajas y desventajas del uso de fosas sépticas.	29

### **CAPÍTULO 3**

#### **EL AGUA EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO**

3.1 Ubicación del Campus y características de la zona.	31
3.2 Fuentes de abastecimiento de agua potable en el Campus Universitario.	31
3.3 Tratamiento y disposición de aguas residuales; Programa UNAM-BID.	32

### **CAPÍTULO 4**

#### **LICITACIÓN DEL CONCURSO "CONSTRUCCIÓN Y/O ADECUACIÓN DE 26 FOSAS SÉPTICAS CON POSTRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO"**

4.1 Logística adoptada para el proceso de licitación.	36
4.2 Evaluación de propuestas.	41
4.3 Adjudicación.	41

**CAPÍTULO 5****BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

5.1 Descripción general y funcionamiento.	43
5.2 Proceso constructivo.	45
5.3 Puesta en marcha.	48
5.4 Resultados.	50
5.4.1 Evaluación del funcionamiento.	62
<b>CONCLUSIONES</b>	63
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	64
<b>ANEXO FOTOGRÁFICO</b>	67

## LISTA DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.1</b> Características del consumo de agua en la ZMVM	4
<b>Tabla 1.2</b> Fuentes de abastecimiento de agua para la ZMVM	5
<b>Tabla 2.1</b> Descripción de las etapas de operación en un Reactor Secuencial Batch	14
<b>Tabla 2.2</b> Opciones de tratamiento <i>in situ</i>	22
<b>Tabla 2.3</b> Capacidad y dimensiones de una fosa séptica convencional para servicio doméstico	26
<b>Tabla 2.4</b> Capacidad y dimensiones de una fosa séptica de doble cámara para servicio doméstico	27
<b>Tabla 2.5</b> Cantidad de materiales a emplear en la construcción de una fosa séptica convencional en función del número de usuarios	28
<b>Tabla 2.6</b> Cantidad de materiales a emplear en la construcción de una fosa séptica de doble cámara en función del número de usuarios	28
<b>Tabla 2.7</b> Distancias mínimas entre una fosa séptica y diversas instalaciones.	29
<b>Tabla 3.1</b> Condiciones climatológicas en la región durante el año de 1996	32
<b>Tabla 3.2</b> Ubicación de las 26 fosas sépticas con sistema de postratamiento	34
<b>Tabla 4.1</b> Fosas sépticas preexistentes y características del sitio en donde se ubican	37
<b>Tabla 4.2</b> Documentos presentados en la propuesta técnica	39

<b>Tabla 4.3</b>	Documentos presentados en la propuesta económica	40
<b>Tabla 4.4</b>	Diferencias porcentuales de las ofertas presentadas con respecto a la más baja	41
<b>Tabla 5.1</b>	Elementos de los trenes de tratamiento instalados y finalidades de los mismos	45
<b>Tabla 5.2</b>	Calendarización de la actividades necesarias para el habilitado de las instalaciones de tratamiento.	46
<b>Tabla 5.3</b>	Instalaciones seleccionadas para monitoreo	49
<b>Tabla 5.4</b>	Límites máximos permitidos en los efluentes de las instalaciones de 5 m <sup>3</sup> /d	49
<b>Tabla 5.5</b>	Límites máximos permitidos en los efluentes de las instalaciones de 10 y 15 m <sup>3</sup> /d	50
<b>Tabla 5.6</b>	Caracterización de las aguas residuales generadas en el Campus Universitario	51
<b>Tabla 5.7</b>	Resultados obtenidos durante la 1ª y 2ª etapas de análisis	52
<b>Tabla 5.8</b>	Resultados promedio obtenidos durante la 3ª etapa de análisis para instalaciones de 5 m <sup>3</sup> /d	53
<b>Tabla 5.9</b>	Resultados promedio obtenidos durante la 3ª etapa de análisis para instalaciones de 10 y 15 m <sup>3</sup> /d	53
<b>Tabla 5.10</b>	Resultados de los aforos realizados por instalación durante la 3ª etapa de análisis	53
<b>Tabla 5.11</b>	Resultados promedio obtenidos durante la 4ª etapa de muestreo de los efluentes en instalaciones de 5 m <sup>3</sup> /d	57
<b>Tabla 5.12</b>	Resultados promedio obtenidos durante la 4ª etapa de muestreo de los efluentes en instalaciones de 10 y 15 m <sup>3</sup> /d	58
<b>Tabla 5.13</b>	Resultados de los aforos realizados a la F.S. 17 (Metro C.U.)	59
<b>Tabla 5.14</b>	Resultados obtenidos a partir del seguimiento a la F.S. 17 (Metro C.U.)	60

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 2.1</b> Diagrama típico de funcionamiento para un sistema de tratamiento basado en lodos activados	13
<b>Figura 2.2</b> Secuencia típica de operación de un reactor secuencial batch	14
<b>Figura 2.3</b> Esquema de un filtro percolador convencional	15
<b>Figura 2.4</b> Medios filtrantes para un filtro percolador: roca, de flujo vertical, de madera y empaque aleatorio.	15
<b>Figura 2.5</b> Unidades de biodiscos: convencional y con celdas colectoras de aire	16
<b>Figura 2.6</b> Reactores anaerobios; convencional y de alta tasa	17
<b>Figura 2.7</b> Proceso de contacto anaerobio	18
<b>Figura 2.8</b> Reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos	19
<b>Figura 2.9</b> Filtro anaerobio (flujo ascendente)	19
<b>Figura 2.10</b> Proceso de lecho expandido o fluidificado	20
<b>Figura 2.11</b> Tanque Imhoff	23
<b>Figura 2.12</b> Fosa séptica convencional	26
<b>Figura 2.13</b> Fosa séptica de doble cámara	27
<b>Figura 3.1</b> Red de drenaje existente en el Campus Universitario y ubicación de las 26 fosas sépticas con postratamiento.	35
<b>Figura 5.1</b> Bioreactor anaerobio integrado	43
<b>Figura 5.2</b> Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de 5m <sup>3</sup> /d	44
<b>Figura 5.3</b> Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de 10 y 15 m <sup>3</sup> /d	44
<b>Figura 5.4</b> Hidrograma F.S. 18 (Comedor Anexo de Ingeniería)	54
<b>Figura 5.5</b> Hidrograma F.S. 24 (Medicina del deporte)	54
<b>Figura 5.6</b> Hidrograma F.S. 25 (UDUAL)	54
<b>Figura 5.7</b> Hidrograma F.S. 26 (Caseta de vigilancia Estadio Olímpico)	55

<b>Figura 5.7</b>	Hidrograma F.S. 26 (Caseta de vigilancia Estadio Olímpico)	55
<b>Figura 5.8</b>	Hidrograma F.S. 05 (Teatro y Danza)	55
<b>Figura 5.9</b>	Hidrograma F.S. 15 (Posgrado de Odontología)	55
<b>Figura 5.10</b>	Hidrograma F.S. 23 (Gimnasio)	56
<b>Figura 5.11</b>	Hidrograma F.S. 17 (Metro C.U.)	59
<b>Figura 5.12</b>	Evolución de la DQO <sub>t</sub> en el efluente de las F.S. (Metro C.U.) con inóculo y F.S. 26 (Estadio Olímpico) de la semana 20 a la 31 de funcionamiento	61
<b>Figura A.1</b>	Terreno proporcionado para la construcción de las instalaciones de tratamiento de la F.S. 23 (Gimnasio)	68
<b>Figura A.2</b>	Fosa séptica vertical preexistente en F.S. 25 UDUAL	68
<b>Figura A.3</b>	Trazo y comienzo de la excavación en material tipo I (suelto) en F.S. 15 (Posgrado de Odontología, ala norte)	69
<b>Figura A.4</b>	Excavación con pistolas neumáticas en material tipo III (rocoso) en F.S.23 (Gimnasio)	70
<b>Figura A.5</b>	Cajón para alojamiento de reactores anaerobios en F.S. 23 (Gimnasio)	70
<b>Figura A.6</b>	Fosa séptica y registro de pretratamiento construidos en la F.S. 23 (Gimnasio)	71
<b>Figura A.7</b>	Pretratamiento	71
<b>Figura A.8</b>	Reactores anaerobios antes de ser instalados en la F.S. 23 (Gimnasio)	72
<b>Figura A.9</b>	Detalle del empaque aleatorio utilizado en los reactores anaerobios	72
<b>Figura A.10</b>	Instalación de tubería de PVC en el influente y en el efluente de los reactores	73
<b>Figura A.11</b>	Vista superior de la cámara de cloración utilizada en instalaciones con capacidad de tratamiento de 10 y 15 m <sup>3</sup> /s	73

<b>Figura A.12</b>	Vista superior del registro de filtrado del efluente proveniente de la cámara de cloración en instalaciones con capacidad de tratamiento de 10 y 15 m <sup>3</sup> /s	74
<b>Figura A.13</b>	Obra concluida en F.S. 08 (Vivero alto, Cabaña 1) con capacidad de tratamiento de 5 m <sup>3</sup> /d	74
<b>Figura A.14</b>	Obra concluida en F.S. 23 (Gimnasio) con capacidad de tratamiento de 15 m <sup>3</sup> /d	75
<b>Figura A.15</b>	Efluente de agua tratada en F.S. 5 (Dirección General de Teatro y Danza)	75

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio, es evaluar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales *in situ* construido en 26 instalaciones del Campus Universitario.

A partir de la problemática que implica para la naturaleza y para la sociedad la disposición de aguas residuales sin tratar (degradación de recursos naturales y riesgo para la salud pública), se hace una descripción de la normatividad vigente y en proyecto en materia de disposición de aguas tratadas, la cual establece los estándares mínimos que deben cumplir ya sea para su descarga en distintos cuerpos receptores o para su reúso.

Posteriormente, se plantean las condiciones en las que se llevan a cabo el abastecimiento de agua potable, la recolección y la descarga de aguas residuales en el Campus Universitario. Se describen las acciones tomadas por las autoridades universitarias en lo que se refiere al saneamiento de un gran porcentaje de las aguas residuales generadas en el Campus, a través del programa Plan Básico de Saneamiento del Campus Universitario, con recursos financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo.

Finalmente, a partir del primero de cinco paquetes de licitación incluidos en la estrategia de saneamiento para el Campus Universitario, consistente en la instalación de 26 plantas paquete para el tratamiento *in situ*, se hace una descripción del sistema de tratamiento seleccionado, desde el proceso constructivo necesario para su instalación, pasando por la entrega de instalaciones y su puesta en marcha, hasta la evaluación de su funcionamiento a partir de la caracterización obtenida por medio del análisis de los influentes y de los efluentes.

El sistema de tratamiento seleccionado, mostró un comportamiento satisfactorio en la ~~cali~~dad del efluente con notorias ventajas en su operación, ya que su funcionamiento no requiere de energía eléctrica y su mantenimiento se limita a la limpiezas periódicas.

Las ~~acc~~iones tomadas por la UNAM en lo que al saneamiento de las aguas residuales en el Campus se refiere, marcan un precedente en torno a la cultura que se debe cultivar en la población en general en torno al tratamiento de aguas residuales, generando condiciones de vida más seguras por medio de la preservación de los recursos hídricos.

## INTRODUCCIÓN

En la Zona Metropolitana del Valle de México, donde se ubica el Campus Universitario de la Universidad Nacional Autónoma de México, debido a la escasez de fuentes superficiales de agua cercanas con volúmenes suficientes para satisfacer la demanda de agua potable, se ha tenido que extraer agua del acuífero por medio de pozos, obteniendo así un gran porcentaje de la dotación abastecida diariamente. Esta situación presenta grandes problemas, de entre los que sobresalen dos; el hundimiento de la ciudad debido al aumento de esfuerzos efectivos sobre el suelo inducido por la sobreexplotación del acuífero, con daños a diversa infraestructura como los sistemas de agua potable y de alcantarillado; y el riesgo para la salud pública por la contaminación del acuífero inducida por la insuficiencia del sistema de alcantarillado y saneamiento, ya que en zonas marginadas, grandes volúmenes de aguas residuales sin tratamiento son infiltrados al suelo diariamente.

Actualmente, la totalidad del agua potable abastecida al Campus Universitario, es obtenida a través de la explotación de tres pozos profundos, con lo cual se satisfacen las necesidades para consumo humano y para las diversas actividades que se desarrollan en él, entre las que se encuentra el riego de áreas verdes. Esta situación en nuestro días resulta inconveniente, considerando la problemática que se tiene en torno a este recurso en el Valle de México.

En el Campus se generan 112 l/s de aguas residuales, de los cuales, hasta antes de la puesta en marcha del Plan Básico de Saneamiento del Campus Universitario, solo el 36% recibía tratamiento (Noyola, 1996). Ante la necesidad de dar un tratamiento al porcentaje restante, la Dirección General de Obras y Servicios Generales, en coordinación con el Instituto de Ingeniería, han realizado estudios correspondientes a la construcción de redes de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales y redes de distribución de agua tratada, concluyendo que debido a las condiciones geológicas características de la zona (pedregal de difícil excavación) y a la dispersión de la dependencias, resulta incosteable dotar de alcantarillado a todas las instalaciones del Campus que carecen de este, y su posterior conducción hasta una planta de tratamiento.

De este modo, se propuso la construcción de las plantas de tratamiento necesarias para proporcionar tratamiento *in situ* a efluentes cuyo volumen y localización no justificaran la construcción de una red de alcantarillado. Para este fin, se han proyectado cinco paquetes de

licitación pública, para llevarse a cabo entre 1996 y 1998. El primer paquete de licitación, motivo de este trabajo realizado durante 1996, tuvo como objetivo principal, el construir instalaciones para dar un tratamiento *in situ*, cuyos sistemas presentaran la menor complejidad y mantenimiento posibles, con costos relativamente bajos, tanto de construcción como de operación.

El licitante ganador, propuso un tren de tratamiento consistente en registro de pretratamiento con rejillas gruesas, fosa séptica, registro de distribución, bioreactor anaerobio integrado, tanque de cloración y filtro de arena ( los dos últimos solo en las instalaciones con capacidad de tratamiento mayor a 10 m<sup>3</sup>/d - cuatro plantas).

La creación de una conciencia acerca del cuidado del medio ambiente como medida de preservación de recursos naturales en el planeta, ha traído consigo la generación de normatividades en materia ambiental en muchos países, entre ellos el nuestro. Para el cumplimiento de dichas normatividades, necesariamente se tendrán que generar obras de infraestructura de protección ambiental, ejemplo de ello son las plantas de tratamiento de aguas residuales que tanto el sector público como el privado han construido en el país: la participación del Ingeniero Civil ha sido y será siempre importante en la planeación, diseño, construcción y operación de dichas obras.

La Ingeniería Ambiental, ante la extensa problemática que enfrenta en nuestros días, se constituye como un área interdisciplinaria en la que el Ingeniero Civil, de acuerdo a su formación académica, encuentra un campo de especialización que le ofrece un interesante e importante panorama de ejercicio profesional, aplicando los conocimientos adquiridos durante el aprendizaje de la carrera y explorando nuevos horizontes de conocimiento que le sirvan para su superación como profesionista y al mismo tiempo, permitan ampliar el campo de acción de la Ingeniería Civil dentro de esta área.

Para el próximo siglo, la sociedad tendrá que resolver muchas circunstancias, entre las que sobreesalen la generación de alimentos para la población y la creación de nuevos materiales y formas alternativas de energía capaces de sustituir el uso del petróleo. Es indudable que para poder lograr dicho fin, la preservación del medio ecológico es de gran importancia, por lo que se deberá considerar como prioridad en el desarrollo de cualquier actividad, como lo es el ejercicio profesional de la Ingeniería Civil.

## CAPÍTULO 1

# EL AGUA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM).

### 1.1 Problemática del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

El Valle de México, constituye una cuenca endorreica ubicada en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano, y ocupa un área aproximada de nueve mil km<sup>2</sup>, a una altura promedio de 2400 m sobre el nivel del mar. La temperatura promedio es de 15°C, con una precipitación anual promedio de 700 mm, concentrada en unas cuantas tormentas intensas, las cuales por lo regular se presentan de junio a septiembre (DGCOH DDF, 1994).

Según el censo de 1990, la ZMVM contaba con 15 millones de habitantes, distribuidos en las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y en la zona conurbada del Estado de México. Se prevé que, de continuar el ritmo de crecimiento demográfico prevaleciente, para el año 2000 la ZMVM tendrá aproximadamente 22.3 millones de habitantes (National Research Council, 1995).

Esta situación ha provocado una creciente demanda de agua, lo que aunado a la escasez de fuentes superficiales cercanas capaces de aportar un volumen adecuado de la misma, ha llevado a sobreexplotar el acuífero, que ha provocado un hundimiento en 100 años de aproximadamente 7.5 m con respecto al nivel de referencia original. Esto propicia condiciones para que existan inundaciones y se dañe la infraestructura existente, especialmente las redes de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado, provocando fracturas y fugas en las tuberías de las mismas.

Por otro lado, el asentamiento irregular de núcleos suburbanos en la periferia de la ciudad, inclusive al pie de las sierras que la circundan, ha presentado dos grandes problemas en lo que al agua se refiere; en primer lugar, debido a la topografía que presentan estas regiones, se torna difícil y costoso introducir los servicios de agua potable y alcantarillado;

en segundo lugar, por su ubicación constituyen zonas de recarga al acuífero, el cual puede contaminarse por las descargas de aguas residuales crudas producto de la ausencia de un sistema de alcantarillado.

### 1.1.1 Captación, conducción y distribución.

La administración de los servicios de agua y desagüe en la ZMVM, corresponde en forma dividida al Distrito Federal y al Estado de México, en tanto que la Comisión Nacional del Agua tiene la responsabilidad de llevar el agua en bloque a las zonas de servicio.

De acuerdo al censo de 1990, el 94% de la población total en la ZMVM recibe el servicio de abastecimiento de agua potable a través de redes de distribución conectadas directamente a casas o bien a una toma común de distribución en el vecindario. El nivel de cobertura del servicio es más alto en el Distrito Federal (97%) que en la zona conurbada del Estado de México (90.5%). La dotación promedio estimada es de 364 l/hab/d para el Distrito Federal y de 230 l/hab/d para el Estado de México (National Research Council, 1995). Las características en el consumo de agua en la ZMVM se muestran en la **tabla 1.1**.

**Tabla 1.1** Características del consumo de agua en la ZMVM

CONSUMO	PORCENTAJE
Industrial.	17%
Comercio y servicios.	16%
Habitacional	67%

DGCOH DDF, 1994

Para abastecer los requerimientos de agua antes mencionados, se suministra un gasto de 62 m<sup>3</sup>/s, 56 % en el Distrito Federal y 44 % en el Estado de México (DGCOH DDF, 1994). Las diversas fuentes de las que se obtiene el gasto que se suministra a la ZMVM, se muestra en la **tabla 1.2**.

**Tabla 1.2** Fuentes de abastecimiento de agua para la ZMVM.

FUENTE	PORCENTAJE
Acuífero del Valle de México	73%
Sistema Cutzamala	17%
Acuífero del Valle de Lerma	8%
Fuentes superficiales del Valle de México	2%

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995

El aprovechamiento de aguas superficiales en el Valle de México, se da por medio de la explotación de los ríos Magdalena y Tlalnepantla. Las aguas del río Magdalena son aprovechadas para el abastecimiento al Distrito Federal, mientras que el río Tlalnepantla abastece de agua a la zona conurbada del Estado de México por medio de la presa Madín. En un porcentaje menor, son aprovechados también aguas de pequeños arroyos y manantiales.

### **1.1.2 Calidad del agua proveniente de las fuentes de abastecimiento y potabilización de la misma.**

De acuerdo con un sondeo realizado en 1993, las pruebas de calidad del agua realizadas en pozos, revelaron áreas en las que el agua no cumplía con los requisitos de color, sólidos totales, amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos, carbón orgánico y dureza (National Research Council, 1995). Estos problemas tendieron a localizarse en la sección Este del Distrito Federal, y en algunas porciones de los campos de pozos circundantes. En estos sitios, adicional a la cloración, se llevó a cabo un tratamiento a pie de pozo, que incluye oxidación, filtración y adsorción con carbón activado. El agua subterránea importada de la cuenca del río Lerma es desinfectada con cloro. En general, los procedimientos de desinfección aplicados al agua potable buscan obtener un nivel de cloro residual de 2 mg/l.

Las fuentes superficiales de abastecimiento en general presentan un buen nivel de calidad, exceptuando los altos niveles de coliformes fecales existentes en el río Cutzamala. Son tres las plantas potabilizadoras que dan tratamiento al agua que abastece a la ZMVM; en el Distrito Federal opera la planta potabilizadora del Río Magdalena, misma que trabaja

con un proceso a base de coagulación/floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección con cloro; en la presa Madín, existe una potabilizadora cuyo proceso es similar al de la planta del río Magdalena y en la planta potabilizadora Los Berros, con capacidad para tratar 10 m<sup>3</sup>/s, se da tratamiento al agua importada del río Cutzamala, antes de que ésta se incorpore al sistema Lerma-Cutzamala. El proceso en esta planta consiste en una precloración, coagulación/floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección con cloro.

### **1.1.3 Recolección y saneamiento de aguas residuales**

La recolección de aguas residuales en la ZMVM, se lleva a cabo mediante un sistema común para el Distrito Federal y para la zona conurbada del Estado de México. Dicho sistema es de tipo combinado, es decir, transporta tanto aguas residuales como pluviales. Al ser recolectadas las aguas en las redes primarias y secundarias, son conducidas al sistema de desagüe. Las cuatro salidas artificiales que desalojan las aguas residuales de la ZMVM son el tajo de Nochistongo, en el cual desemboca el Emisor Poniente, el primero y el segundo túneles de Tequixquiac y el emisor central o drenaje profundo. Este último desemboca en el río El Salto, posteriormente el agua es conducida a la presa Requena, donde sigue su trayecto hasta el río Tula y a la presa Endo.

De las aguas residuales producidas en la ZMVM, sólo el 10 % recibe tratamiento, el restante se desvía al exterior de la cuenca a través del sistema de drenaje. Las aguas residuales sin tratar, son utilizadas para riego de 80 mil hectáreas de campos de cultivo en el Valle del Mezquital y en el estado de Hidalgo (National Research Council, 1995). El remanente de las aguas utilizadas para riego de cultivos en el citado valle, se drena hacia corrientes tributarias de río Pánuco, mismo que desemboca en el Golfo de México.

Actualmente, en la ZMVM se cuentan con 27 plantas de tratamiento de aguas residuales, 13 en el Distrito Federal y 14 en el Estado de México, cuyos tipo de tratamiento son secundario y en menor número terciario. La capacidad de tratamiento instalada es de 7.53 m<sup>3</sup>/s, 61.3 % en el Distrito Federal y 38.7 % en el Estado de México, con un flujo real

tratado de 4.3 m<sup>3</sup>/s, 60.9% en el Distrito Federal y 39.1% en el Estado de México (National Research Council, 1995). El tratamiento secundario en estas plantas, se da con el sistema de lodos activados, mientras que el terciario se basa en métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Estas aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutilizan a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga al acuífero y la irrigación de áreas verdes urbanas en la ciudad (National Research Council, 1995).

De acuerdo al censo de 1990, el 82 % de la población de la ZMVM cuenta con servicio de alcantarillado; del restante, aproximadamente el 6 % utiliza fosas sépticas y el 12 % vierte sus aguas residuales en letrinas o a cielo abierto (National Research Council, 1995). Esta situación significa un gran riesgo para la salud pública, ya que la disposición de aguas residuales en fosas sépticas mal construidas, en letrinas y a cielo abierto, afectan claramente al ambiente, debido principalmente al riesgo de contaminación al acuífero y al impacto a la salud humana que estas prácticas implican.

#### **1.1.4 Problemática de la salud pública asociada al agua en la ZMVM.**

La problemática de la salud pública en la ZMVM en torno al agua, se relaciona principalmente con tres causas distintas:

1. Insuficiencia de agua para mantener condiciones higiénicas de vida.
2. Contaminación del agua en su distribución.
3. Contaminación de fuentes de abastecimiento, tanto subterráneas como superficiales.

En la ZMVM, las zonas de escasos recursos generalmente carecen de agua tanto en cantidad como en calidad. En muchas ocasiones, el agua que se abastece a esta zonas por medio de pipas, a pesar de tener una calidad aceptable al momento de ser depositada en las mismas, ésta se contamina por falta de mantenimiento e higiene en los vehículos, volviéndose inadecuada para consumo humano. Por otro lado, al adquirir los usuarios el

agua de esta manera, generalmente la almacenan en sitios en los que se contamina fácilmente, ya que frecuentemente éstos no están cubiertos adecuadamente, quedando expuestos a la intemperie, y con ello al desarrollo de microorganismos y a la contaminación por restos fecales de animales y humanos.

En cuanto a los habitantes que reciben el servicio de agua entubada, éstos son susceptibles de padecer problemas de salud ocasionados por enfermedades hídricas, generalmente por la falta de mantenimiento, tanto en el sistema público como en el domiciliario. Esta falta de mantenimiento en los sistemas de distribución de agua, es causante de contaminación del agua potable, generalmente por infiltraciones de aguas freáticas y de conexiones cruzadas en tuberías en mal estado. La falta de higiene en cualquier depósito, tanto en tanques de regulación y almacenamiento como en tinacos, también es un factor de contaminación de agua potable en los sistemas de distribución, ya que en estos sitios, si no se da un mantenimiento adecuado o si no están cubiertos correctamente, se presenta la misma problemática mencionada para los depósitos utilizados por los habitantes que reciben el agua a través de pipas.

La falta de tratamiento de aguas residuales, la conducción de éstas por canales no revestidos, la disposición de aguas residuales domésticas de maneras inadecuadas, y las fugas en el sistema de drenaje, son las causas más comunes de contaminación de las fuentes de abastecimiento en la ZMVM.

El constante asentamiento de nuevos núcleos urbanos carentes de servicios de agua en la periferia de la ciudad, principalmente en las zonas bajas de las sierras que rodean la cuenca, con la problemática de la recarga del acuífero que esto implica es uno de los factores que más perjudica la calidad del agua del mismo. Por las características mencionadas, esta situación se ubica dentro de la zona de transición del Valle de México, en donde la permeabilidad de los suelos, aunada a la inadecuada disposición de aguas residuales, son un foco de contaminación para la gran cantidad de pozos que en esta zona se ubican.

## **1.2 Normatividad en materia de aguas residuales en México**

En México, la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos, corresponde al Ejecutivo Federal, el cual la ejerce a través de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Las disposiciones establecidas por la CNA en lo que a la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como su distribución, control y preservación de su cantidad y calidad, se encuentran contenidas en la Ley de Aguas Nacionales y en su reglamento. De igual manera, la CNA por medio de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, establece los derechos que se deben pagar por el uso o aprovechamiento de los bienes públicos en la Nación, así como por recibir servicios prestados por el Estado.

En materia de aguas residuales, en México se ha hecho una reformulación en cuanto a la normatividad, en la que con la finalidad de establecer una uniformidad de criterios para evitar la contaminación de los cuerpos receptores, se sustituyen 44 Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales establecían los límites máximos permitidos en las descargas de aguas residuales para distintas actividades, por sólo tres de carácter general:

- La *NOM-001-ECOL-1996*, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- La *NOM-002-ECOL-1996*, publicada como proyecto de norma en el Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado.
- La *NOM-003-ECOL-1997*, publicada como proyecto de norma en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1998, establece los límites máximos permisibles de

---

contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reusen en los servicios públicos.

Buscando completar la normatividad, se contempla la expedición de otras tres normas; una que establezca los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos generados por plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y dos más que establezcan los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales al suelo y al subsuelo mediante infiltración e inyección. Por otro lado, y en relación con el tema de este trabajo, se tiene también contemplada la expedición de la NOM-006-CNA-1997, que establece las características y métodos de prueba con los que deben cumplir las fosas sépticas prefabricadas.

## CAPÍTULO 2

### PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Con la finalidad de evitar la contaminación de cuerpos receptores, y el consecuente daño al ambiente que les rodea, las aguas residuales generadas por cualquier actividad deben recibir un tratamiento que les proporcione una calidad lo menos ofensiva posible. de acuerdo a lo estipulado en la normatividad vigente.

#### 2.1 Panorama general.

El tratamiento de aguas residuales se conjunta por una serie de operaciones y procesos unitarios. Se conoce como operación unitaria a cualquier método en el que el proceso de tratamiento implique básicamente la aplicación de fuerzas físicas. Los procesos unitarios, son aquellos en los que el tratamiento se lleva a cabo por medio de reacciones biológicas y/o químicas. Por medio de la conjunción de operaciones y procesos unitarios se obtiene lo que se denomina como tratamiento a nivel primario, secundario ó terciario (avanzado).

En el tratamiento primario se llevan a cabo operaciones por medio de fuerzas físicas, como son el cribado, desarenado y la sedimentación. El tratamiento secundario, consiste básicamente en procesos cuya finalidad principal es la de remover materia orgánica, principalmente de forma disuelta, presente en aguas residuales, por medio de reacciones bioquímicas. En el tratamiento terciario, combinaciones adicionales de operaciones y procesos unitarios, son utilizados para la remoción de otros constituyentes tales como el nitrógeno y el fósforo (Metcalf & Eddy, 1991).

Por otro lado, un proceso biológico puede ser de crecimiento celular fijo o suspendido. Un proceso biológico de crecimiento fijo, es aquel en el que los microorganismos responsables de la remoción de materia orgánica se desarrollan adheridos a un soporte inerte formando una biopelícula (rocas, material plástico o cerámica). Un proceso biológico de crecimiento suspendido, es aquel en el que los microorganismos removedores de materia orgánica se encuentran suspendidos en el líquido, normalmente bajo agitación.

Dado que el interés de este trabajo se encuentra enmarcado por la utilización de procesos biológicos, a continuación se mencionan los principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales:

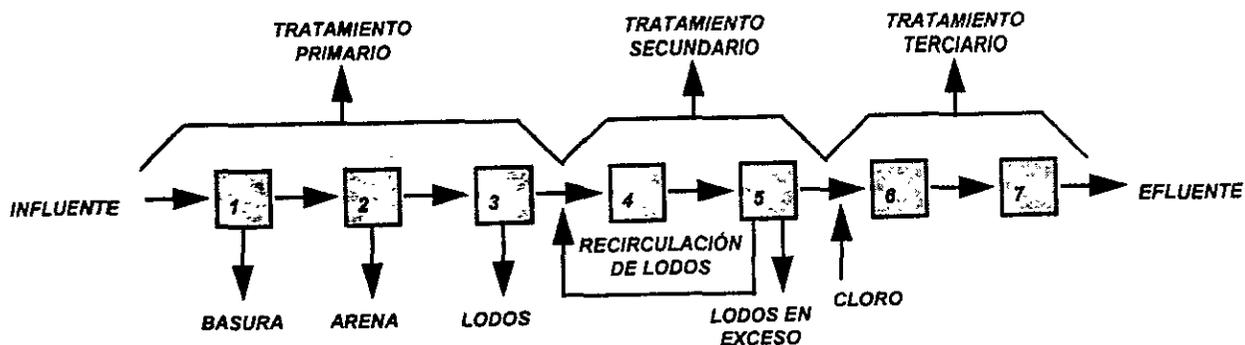
- Procesos aerobios.
- Procesos anaerobios.
- Procesos anóxicos.
- Procesos combinados (anaerobio-aerobio, aerobio-anóxico, anaerobio-anóxico y anaerobio-anóxico-aerobio).

De los anteriores, los más usales para la remoción de materia orgánica son los procesos aerobios y anaerobios.

## 2.2 Procesos aerobios.

Los principales procesos aerobios utilizados para la remoción de materia orgánica en aguas residuales son; lodos activados, lagunas aireadas, reactor secuencial batch, filtro percolador y sistema de discos biológicos rotatorios.

En el proceso de *lodos activados* se involucra la producción de una masa de microorganismos en suspensión dentro de un tanque que opera en régimen continuo capaz de degradar materia orgánica en un medio aerobio, a partir de la introducción de los desechos orgánicos contenidos en las aguas residuales a un reactor. El contenido del reactor es denominado como "licor mezclado" y el oxígeno necesario para el proceso es proporcionado por medio de aeradores o por procedimientos mecánicos que den lugar a una mezcla completa. El esquema de este proceso es presentado en la **figura 2.1**.



- |                           |                          |                                |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Cribado                | 4. Tanque de Aeración    |                                |
| 2. Desarenado             | 5. Sedimentador de lodos | 7. Cámara de contacto de Cloro |
| 3. Sedimentación primaria | 6. Filtración            |                                |

Figura 2.1 Diagrama típico de funcionamiento para un sistema de tratamiento basado en lodos activados

Las *lagunas aireadas*, en general muestran el mismo esquema que un proceso de lodos activados, utilizando un vaso excavado en tierra en lugar de un reactor, obteniendo el oxígeno necesario para el proceso por medio de aeradores. En un proceso de este tipo, los sólidos son mantenidos en suspensión, para posteriormente ser sedimentados en el fondo de la misma laguna o en una laguna de sedimentación o en un sedimentador secundario.

El *reactor secuencial batch*, es un sistema de lodos activados de llenado y vaciado, en el que las operaciones y procesos unitarios llevados a cabo son idénticos a los que se realizan en un proceso de lodos activados, con la diferencia de que en un reactor batch, la aireación y la sedimentación secundaria se llevan a cabo en un solo tanque, mientras que en un proceso de lodos activados convencional se llevan a cabo en tanque separados. La secuencia típica de operación de un reactor batch se muestra en la figura 2.2 y la descripción de los pasos en el mismo se presenta en la tabla 2.1.

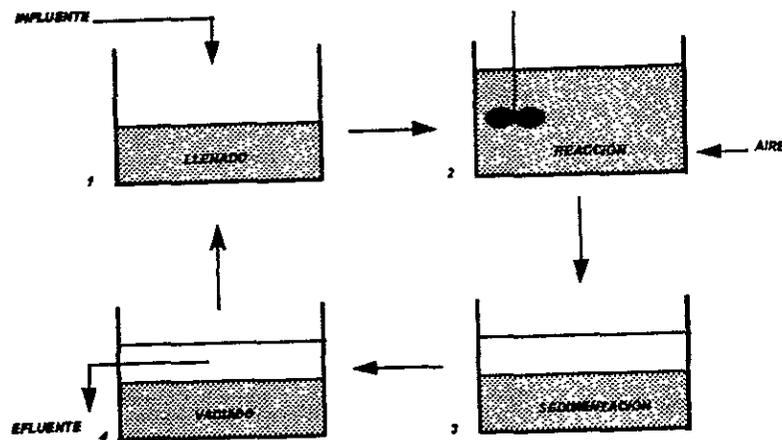


Figura 2.2 Secuencia típica de operación de un reactor secuencial batch

Tabla 2.1 Descripción de las etapas de operación en un reactor secuencial batch  
(Adaptado de Metcalf & Eddy, 1991)

ETAPA	DESCRIPCIÓN
Llenado	El propósito de la etapa de llenado, es introducir al reactor el efluente del tratamiento primario.
Reacción	En la etapa de reacción se llevan a cabo las reacciones bioquímicas para la degradación de materia orgánica en un medio aerobio.
Sedimentación	La etapa de sedimentación permite la clarificación por medio de la separación de sólidos, almacenados en el fondo del reactor.
Vaciado	En el vaciado, el sobrenadante resultante de la operación de sedimentación es descargado como efluente del sistema.

El *filtro percolador* (figura 2.3) consiste en una cama (generalmente cilíndrica) de material altamente permeable ya sea rocoso o plástico (figura 2.4) en la que se fijan los microorganismos y a través de la cual el agua residual es percolada, siendo distribuida en la parte superior del filtro por medio de un distribuidor rotatorio. La materia orgánica contenida en el agua residual es degradada y adsorbida por la biopelícula aerobia fija al medio filtrante. Conforme los organismos que forman la biopelícula se desarrollan, el espesor de ésta aumenta hasta generar condiciones anaerobias cerca de la superficie del medio filtrante, con lo que los microorganismos ahí ubicados, pierden su capacidad de adherencia y el propio flujo de agua desprende dicha biopelícula iniciando al mismo tiempo la generación de una nueva.

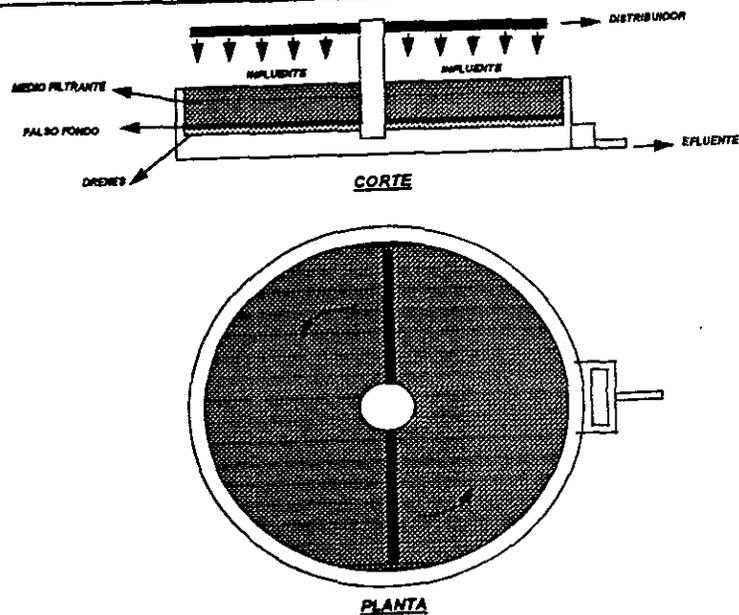


Figura 2.3 Esquema de un filtro percolador convencional

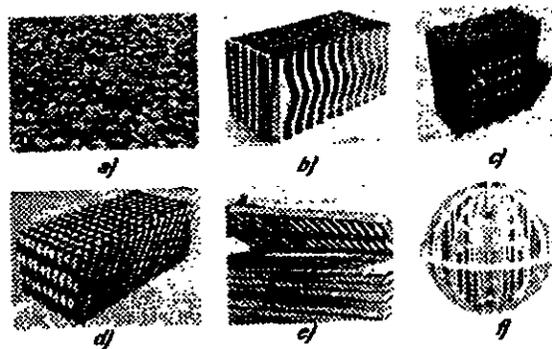


Figura 2.4 Medios filtrantes para filtro percolador: a) roca, b) y c) de flujo vertical, d) de flujo vertical, e) madera y f) empaque aleatorio (Metcalf & Eddy, 1991)

El sistema de *discos biológicos rotatorios* (figura 2.5) consiste en una serie de discos de polietileno, de poliestireno o de cloruro de polivinilo que se encuentran girando lentamente sumergidos parcialmente en el agua residual. Los organismos crecen fijos a los discos creando una biopelícula en la superficie de éstos. La rotación de los discos permite el contacto de la biopelícula con la materia orgánica en el agua residual y después con la atmósfera permitiendo la adsorción de oxígeno manteniendo así condiciones aerobias. Por otro lado, la rotación de los discos es también un mecanismo de remoción de sólidos en exceso por medio de la fuerza de corte.

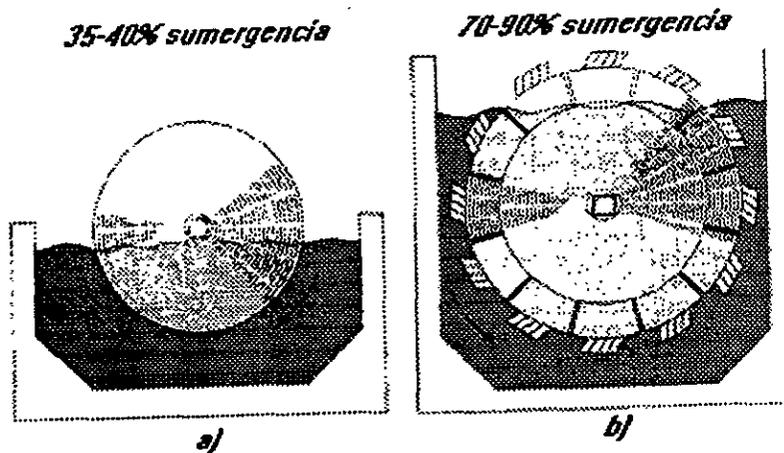


Figura 2.5 Unidades de biodiscos: a) convencional, b) con celdas colectoras de aire (Metcalf & Eddy, 1991)

### 2.3 Procesos anaerobios.

En los últimos años, se han desarrollado diferentes procesos de tratamiento anaerobio para aguas residuales. Entre las principales diferencias que estos procesos presentan con respecto a los procesos aerobios se pueden citar dos:

1. En los procesos anaerobios, el 90% de la energía contenida en la materia orgánica del agua residual es utilizada en la producción de gas metano (biogás) y el 10% restante se utiliza para la síntesis celular, lo que los convierte en procesos de baja producción de lodos y generadores de energía. En cambio, los procesos aerobios utilizan el 65% de la energía para la síntesis celular, generando más lodo y consumiendo energía en forma de agitación y oxigenación (Metcalf & Eddy, 1991).
2. Los procesos anaerobios son más sensibles a los cambios ambientales, requieren tiempos mayores de arranque y alcanzan eficiencias de tratamiento inferiores a las obtenidas con la utilización de un proceso aerobio.

Los procesos anaerobios son utilizados principalmente en el tratamiento de aguas residuales industriales y en la estabilización de lodos de purga producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, aunque ha sido demostrado que también son adecuados para el tratamiento de desechos orgánicos diluïdos. Las principales tecnologías utilizadas para la remoción de materia orgánica vía digestión anaerobia es posible agruparlas en dos tipos: los reactores anaerobios estándar (o de primera generación) y los de alta tasa (o de segunda y tercera generación). Los reactores estándar, son procesos generalmente sin agitación, con altos tiempos de retención hidráulica, operados en régimen semicontinuo y por lotes (batch). Los reactores estándar utilizados con mas frecuencia para tratar efluentes líquidos son la fosa séptica y el tanque imhoff. Por su parte, los reactores de alta tasa pueden funcionar ya sea por medio de la formación de biomasa fija a un medio inerte o suspendida en forma de lecho de lodos, o por agitación, utilizando en ocasiones el calentamiento y requieren de tiempos de retención hidráulica menores. Entre las principales tecnologías de reactores de alta tasa son; contacto anaerobio, reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos, filtro anaerobio y reactor de lecho expandido ó fluidificado.

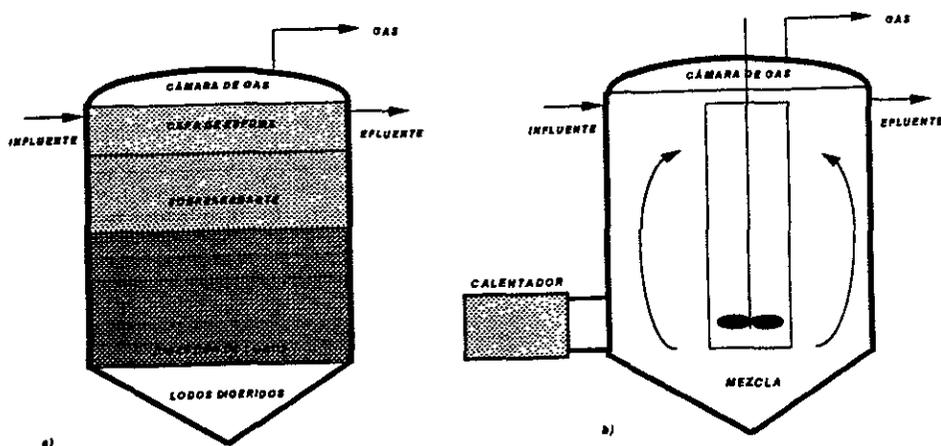


Figura 2.6 Reactores anaerobios, a) estándar y b) de alta tasa

En el proceso de *contacto anaerobio* (figura 2.7), el agua residual es sometida a una mezcla completa con lodos de recirculación en un reactor en condiciones anaerobias, posteriormente la mezcla pasa por un desgrasador y es vertida a un sedimenteador, en donde el sobrenadante es dispuesto como influente generalmente para recibir otro

tratamiento. El lodo sedimentado, debido a las bajas tasas de producción, en la mayoría de los casos es recirculado casi en su totalidad.

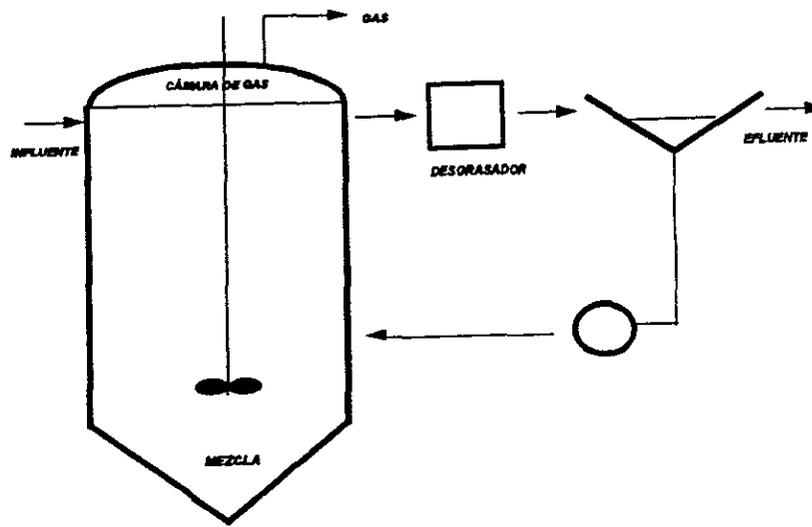


Figura 2.7 Proceso de contacto anaerobio

En el *reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos* (Upflow Anaerobic Sludge-Blanket, UASB) mostrado en la **figura 2.8**, el agua residual es introducida de manera ascendente atravesando un manto de lodos (biomasa) formado por granos o partículas de composición orgánica generados a partir de la materia orgánica contenida en el agua residual. El tratamiento se lleva a cabo cuando el influente del reactor entra en contacto con dichos granos activos. El biogás producido bajo condiciones anaerobias ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) genera una circulación interna que contribuye a la formación de nuevos agregados y al mantenimiento de los ya existentes. Parte del gas producido, se adhiere a los granos provocando la ascensión de estos a la superficie, en donde chocan con el fondo de una mampara degasificadora, provocando la liberación de burbujas de gas y el descenso de los granos al manto de lodos. El gas liberado es almacenado en una cámara especialmente diseñada o quemado en la atmósfera. El efluente del reactor en ocasiones es vertido a un sedimentador para llevar a cabo el proceso de recirculación de lodos descrito en el proceso de contacto anaerobio.

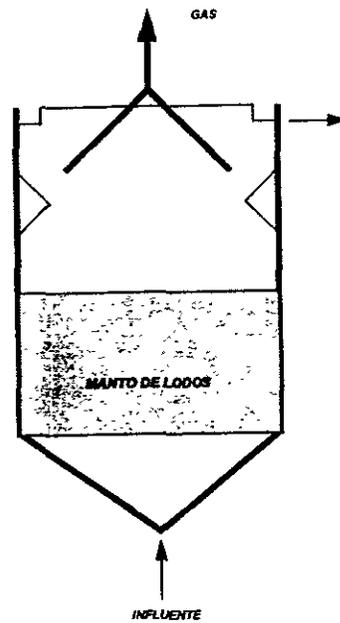


Figura 2.8 Reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos

El *filtro anaerobio* (figura 2.9) es una columna empacada con varias opciones de medios sólidos (material rocoso o plástico). El agua residual fluye de manera ascendente o descendente en contacto con el medio sólido, en el cual se desarrollan los microorganismos degradadores de materia orgánica en forma de biopelícula.

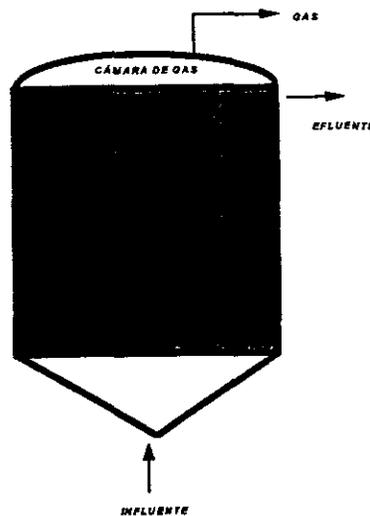


Figura 2.9 Filtro anaerobio (flujo ascendente)

En el proceso de *lecho expandido* ó *fluidificado* (figura 2.10), el agua residual fluye de manera ascendente a través de un medio sólido, como arena, carbón o cualquier otro que permita el desarrollo de los microorganismos degradadores. El efluente es reciclado a altas tasas para mantener expandida la cama.

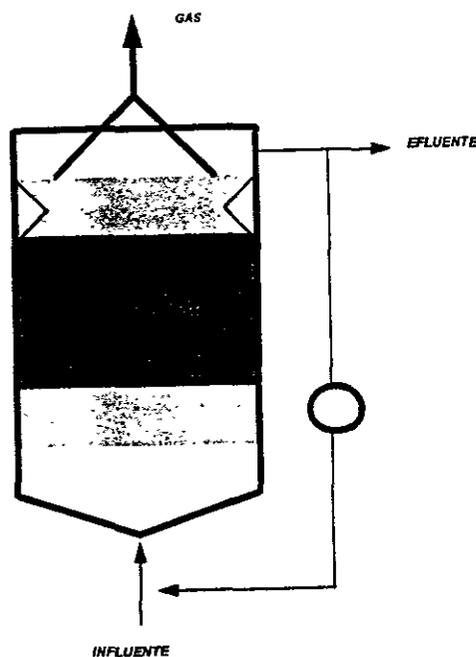


Figura 2.10 Proceso de lecho expandido ó fluidificado

## 2.4 Sistemas de disposición de aguas residuales *in situ*.

El tratamiento de aguas residuales *in situ* es una alternativa de saneamiento en zonas en las que por la topografía, por el tipo de terreno o por lo alejado de zonas con servicios, no es posible instalar una sistema de alcantarillado convencional.

### 2.4.1 Necesidad de su aplicación.

En sitios en los que no se cuenta con servicio de alcantarillado, generalmente las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno en cuerpos de agua o dispuestas para su infiltración al suelo. En algunos casos, reciben un tratamiento en fosas sépticas, mismo que en muchas ocasiones no alcanza una calidad de efluente satisfactoria para ser dispuesto.

La situación descrita, representa un riesgo para el ambiente, al afectar la calidad de cuerpos de agua ya sea superficiales o subterráneos, afectando la salud pública al contaminar fuentes de abastecimiento de agua. Cabe señalar que como se mencionó en el capítulo 1, esta situación tiene una presencia importante para el caso de la ZMVM y en general para todo el país.

#### **2.4.2 Descripción de sistemas de tratamiento *in situ*.**

En términos generales, un sistema de tratamiento *in situ* consiste de 1) un sistema colector de aguas residuales, 2) una instalación de tratamiento, y 3) un sistema de disposición del efluente (Tellez, 1997).

Para la elección de la instalación de tratamiento por utilizar, deberán considerarse varios factores, entre los que destacan:

- La calidad del agua residual por tratar y la calidad deseada en el efluente.
- Posibilidad de aprovechamiento de estructuras existentes.
- La configuración topográfica, disponibilidad y tipo de terreno en el que se va a instalar, y la carga hidráulica disponible.
- Costos de construcción, operación y mantenimiento.
- Resistencia y vida útil de los equipos necesarios.
- Personal requerido y disponibilidad del mismo.

Los sistemas convencionales mas comunes para el tratamiento *in situ* de aguas residuales, generalmente son diseñados para lograr tratamientos a nivel primario y secundario. En la **tabla 2.2** se muestran distintas opciones de tratamiento *in situ*.

Tabla 2.2 Opciones de tratamiento *in situ* (Adaptado de Metcalf & Eddy, 1991)

NIVEL DE TRATAMIENTO	SISTEMA DE TRATAMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fosa séptica.</li> <li>- Tanque Imhoff.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secundario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de lodos activados por aeración extendida.</li> <li>- Reactor secuencial batch.</li> <li>- Filtros percoladores.</li> <li>- Filtros biológicos sumergidos aerobios o anaerobios.</li> <li>- Wet land.</li> <li>- Reactor anaerobio de flujo ascendente.</li> <li>- Tratamiento físico-químico.</li> </ul>

La *fosa séptica* es un tanque construido en el sitio o prefabricado, en el que se lleva a cabo un proceso de digestión anaerobia acompañado de la sedimentación de sólidos y separación de espumas en el agua residual. Una fosa séptica convencional es capaz de proporcionar eficiencias de remoción de  $DBO_5$  entre el 40 % y el 60 %. En el punto 2.4.3 se da una explicación más amplia acerca del funcionamiento de este tipo de sistemas.

El *tanque Imhoff* (figura 2.11), es un tanque formado por dos compartimientos, uno superior para la sedimentación de sólidos y otro inferior para la digestión de lodos. Un deflector que separa ambos compartimientos, permite la sedimentación hacia el compartimiento inferior, pero impide el ascenso de gases al compartimiento de sedimentación, desviándolos hacia un compartimiento de espumas de donde son liberados a la atmósfera. Debido a que en el influente no desecha lodos, brinda una mejor calidad de agua tratada que la fosa séptica.

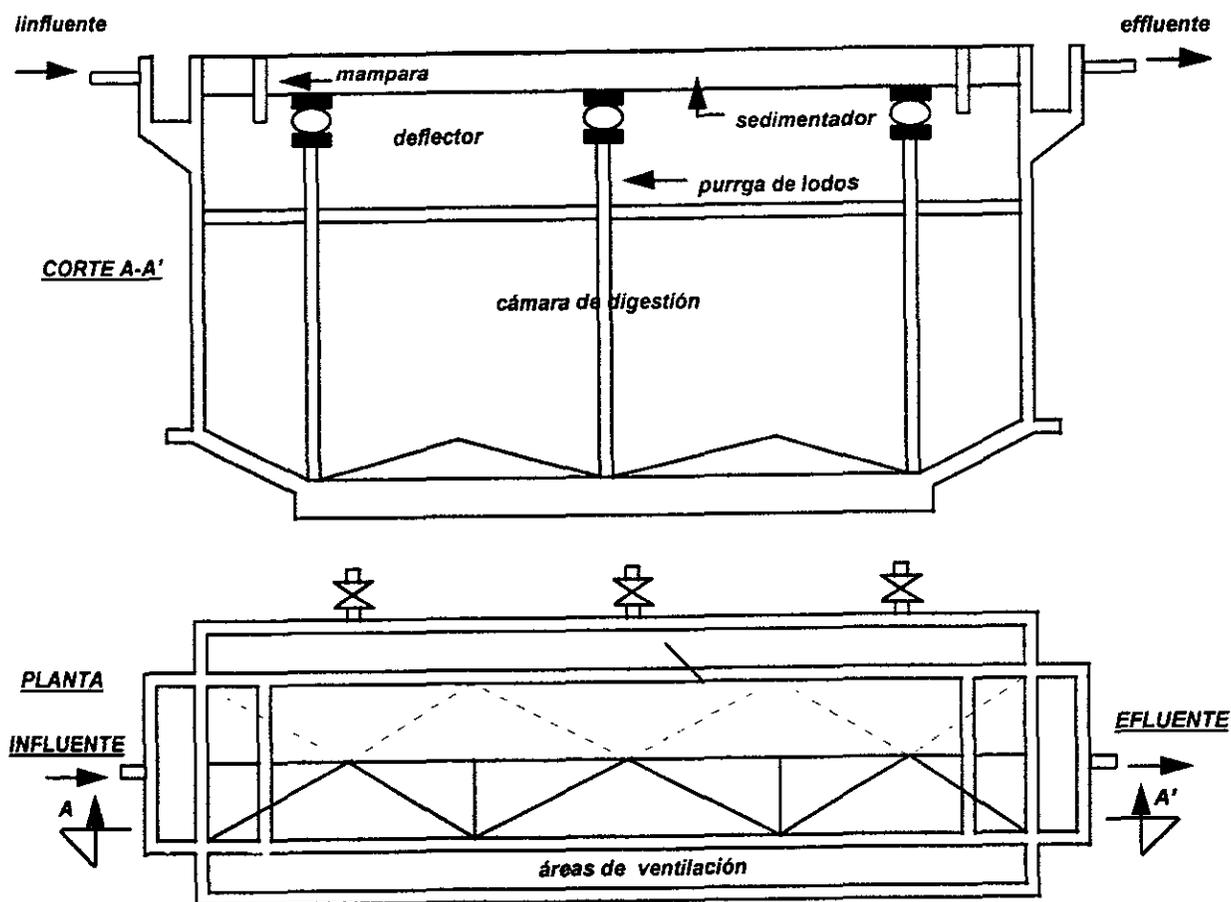


Figura 2.11 Tanque Imhoff

Actualmente es posible adquirir sistemas de tratamiento *in situ* prefabricados denominados *plantas paquete*, que generalmente brindan un tratamiento a nivel secundario. Estas plantas son utilizadas para flujos de hasta  $3800 \text{ m}^3/\text{d}$ , siendo el intervalo más común de  $2.5$  a  $950 \text{ m}^3/\text{d}$ . Los tipos más comunes de plantas paquete en el mercado son: 1) aeración extendida, 2) contacto y estabilización, 3) reactores secuenciales batch, 4) sistema de biodiscos y 5) tratamiento físico-químico (Metcalf & Eddy, 1991).

En las plantas paquete de *aeración extendida*, no se emplea la sedimentación primaria. Es por esto que para evitar la acumulación de sólidos, el sistema de aeración deberá proporcionar la suficiente agitación para mantener los sólidos en suspensión y para digerir los lodos primarios. Para asegurar un funcionamiento óptimo, se recomienda que la carga orgánica máxima en el influente sea de  $0.05$  a  $0.15 \text{ mg DBO}_5/\text{mg SSVLM} \cdot \text{día}$  (sólidos

suspendidos volátiles en el licor mezclado). Por otro lado, se recomienda que la carga hidráulica para el diseño del sedimentador secundario sea de 24 a 32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d.

En las plantas paquete de *contacto y estabilización*, el influente es mezclado con lodos estabilizados en el tanque de aeración; el efluente de este tanque es enviado a un sedimentador secundario, de donde los lodos sedimentados son enviados a un tanque de estabilización, para posteriormente ser recirculados para su mezcla con el influente de la planta.

El funcionamiento de la plantas paquete tipo *reactor secuencial batch y sistema de discos biológicos rotatorios* es el mismo que el descrito para ambos procesos en el subcapítulo 2.2.

Las plantas paquete de tratamiento *físico-químico*, generalmente proporcionan tratamiento mediante los siguientes procesos:

- Tratamiento preliminar:       - Cribado y desarenado.
  
- Tratamiento físico-químico:   - Coagulación/floculación.  
  - Clarificación.  
  - Filtración (carbón activado).  
  - Cloración.

Debido al alto costo que representa el manejo y disposición del lodo producido por el tratamiento físico-químico, el uso de este tipo de plantas es restringido.

Adicionalmente a las plantas mencionadas, existen también las plantas paquete tipo *filtro biológico* aerobio o anaerobio , cuyo funcionamiento consiste en un tratamiento a través de biomasa fija, para lo que se requiere un medio de soporte estático (empaquete) colocado dentro de un tanque generalmente cilíndrico y las tipo *reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos*, que dan tratamiento por medio biomasa suspendida de alta sedimentabilidad.

### 2.4.3 Funcionamiento y tipos de fosas sépticas.

Una fosa séptica como tal, es parte del denominado sistema séptico, el cual está constituido básicamente por tres componentes; 1) el albañal que transporta las descargas de aguas residuales de un predio hasta la fosa séptica, 2) la fosa séptica, en donde se llevan a cabo una digestión anaerobia de materia orgánica y procesos físicos como la separación de grasas y espumas y la sedimentación, y 3) el campo de oxidación, en donde el efluente clarificado es percolado al suelo (Canter & Knox, 1985).

El funcionamiento de un sistema séptico es influenciado directamente por factores como las técnicas de construcción utilizadas, las características físicas, químicas y biológicas del influente, la carga hidráulica, el clima y la geología locales y el mantenimiento que el sistema reciba. Por otro lado, el funcionamiento de la fosa séptica es el que a continuación se describe; al entrar el influente al tanque, los sólidos más pesados se sedimentan al fondo del tanque formando una capa de lodo, los sólidos más livianos permanecen en la superficie del agua en donde en combinación con el biogás generado forman una capa de espuma. En los lodos sedimentados una porción considerable se hidroliza por medio del proceso de digestión anaerobia, del cual se liberan gases como  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , mismos que acarrean partículas a la superficie incorporándolas a la capa de espuma. Posteriormente la digestión en dicha capa hará que estas partículas vuelvan a sedimentarse. Este proceso se retardará considerablemente si hay un exceso de grasa en la capa de espuma. El líquido clarificado entre la capa de espuma y la de lodo, será el efluente de la fosa, pasando previamente por una mampara o algún dispositivo que impida la salida de espuma o de lodos del tanque. Resumiendo, la fosa séptica induce una separación de lodos y de materia flotante del agua residual así como la descomposición anaerobia de parte de la materia sedimentada.

En cuanto al número de compartimientos, en la actualidad se ha observado que los tanques de compartimientos múltiples vierten un agua tratada de mejor calidad que los convencionales. En las figuras 2.12 y 2.13, se muestran los esquemas de una fosa

séptica convencional y una fosa séptica de doble cámara respectivamente, y en las tablas 2.3 y 2.4, se muestra el dimensionamiento de las mismas.

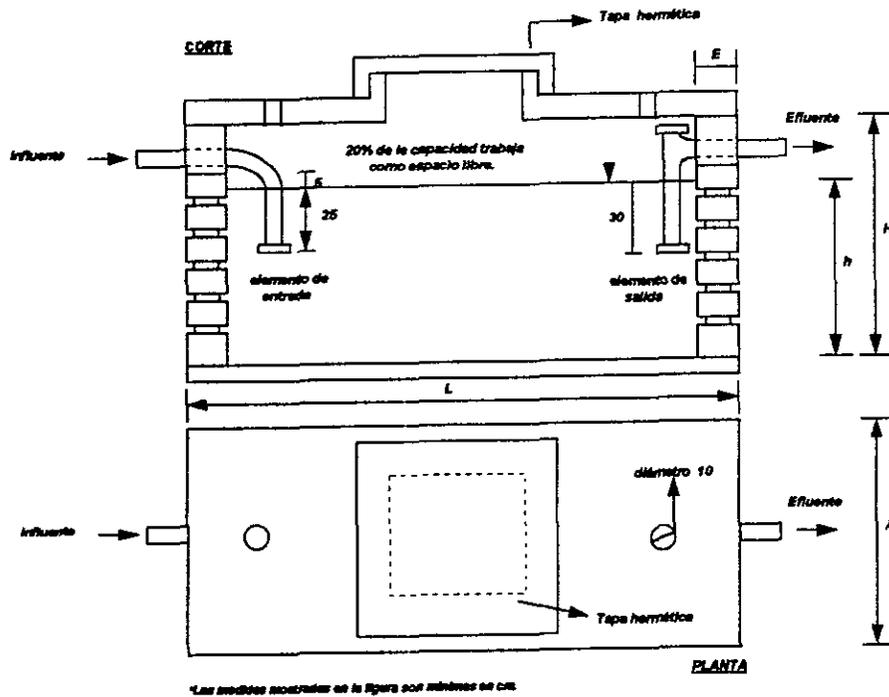


Figura 2.12 Fosa séptica convencional

Tabla 2.3 Capacidad y dimensiones de fosa séptica convencional para servicio doméstico (SEDUE, 1990)

SERVICIO DOMÉSTICO (No. DE USUARIOS)	CAPACIDAD DEL TANQUE (LITROS)	L (cm)	A (cm)	h (cm)	H (cm)	E TABIQUE (cm)	E PIEDRA (cm)
Hasta 10	1500	190	70	120	168	14	30
11 a 15	2250	200	90	130	178	14	30
16 a 20	3000	230	100	140	188	14	30
21 a 30	4500	250	120	160	208	14	30
31 a 40	6000	290	130	170	218	28	30
41 a 50	7500	340	140	170	218	28	30
51 a 60	9000	360	150	180	228	28	30
61 a 80	12000	390	170	190	238	28	30
81 a 100	15000	440	180	200	248	28	30

L largo interior del tanque    A ancho del tanque    h tirante mayor    H profundidad máxima

E espesor de muros

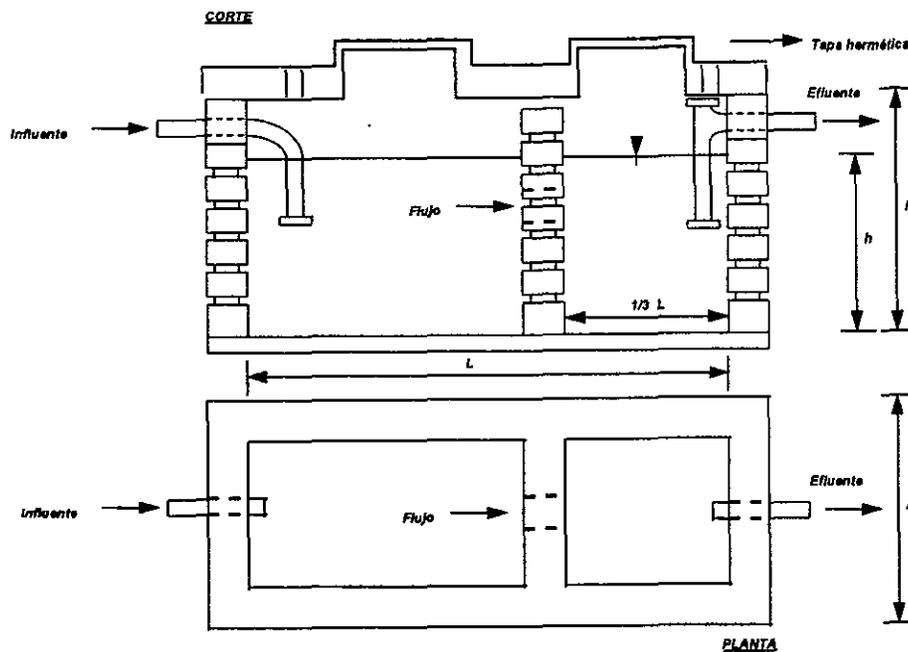


Figura 2.13 Fosa séptica de doble cámara

Tabla 2.4 Capacidad y dimensiones de fosa séptica de doble cámara para servicio doméstico (SEDUE, 1990)

SERVICIO DOMÉSTICO (No. DE USUARIOS)	L (cm)	A (cm)	h (cm)	H (cm)
Hasta 10	190	70	110	168
1 a 20	230	100	130	188
21 a 30	250	120	140	208
31 a 40	290	130	150	218
41 a 50	340	140	150	218
51 a 60	360	150	160	228
61 a 80	390	170	170	238
81 a 100	440	180	180	248

El funcionamiento de una fosa séptica de doble compartimiento es el que a continuación se describe; en el primer compartimiento hay una mezcla de agua residual, lodo y espuma producida por la turbulencia ocasionada por el influente y el proceso de digestión; el segundo compartimiento recibe el efluente clarificado del primer compartimiento con una

turbulencia menor que permite la sedimentación de sólidos de menor densidad, mejorando la eficiencia de funcionamiento del sistema.

La fosa séptica cuando se construye en el lugar, puede ser construída con tabique y concreto armado. Otros materiales alternativos para la construcción de fosas sépticas son la fibra de vidrio, el concreto, el acero, el asbesto-cemento y el polietileno.

**Tabla 2.5** Cantidad de materiales a emplear en la construcción de una fosa séptica convencional, en función del número de usuarios (SEDUE, 1990)

MATERIAL	UNIDAD	NÚMERO DE USUARIOS								
		1 a 5	6 a 15	16 a 20	21 a 30	31 a 40	41 a 50	51 a 60	61 a 80	81 a 100
Tabique	pza	600	660	725	800	1760	1936	2128	2340	2574
Cemento	kg	305	335	365	400	440	484	532	585	644
Arena	m <sup>3</sup>	0.5	0.55	0.6	0.7	0.77	0.85	0.94	1.02	1.13
Grava (3/4")	m <sup>3</sup>	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.21	1.33	1.46	1.61
Acero #3	m	100	110	120	130	143	157	173	190	210
Cimbra	m <sup>2</sup>	9.2	10.15	11.15	12.24	13.46	14.81	16.3	17.92	19.71
Excavación	m <sup>3</sup>	11	12.1	13.3	14.56	16.02	17.62	19.38	21.32	23.45
Tubería de concreto simple 6"	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3

**Tabla 2.6** Cantidad de materiales a emplear en la construcción de una fosa séptica de doble cámara, en función del número de usuarios (SEDUE, 1990)

MATERIAL	UNIDAD	NÚMERO DE USUARIOS								
		1 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	41 a 50	51 a 60	61 a 80	81 a 100	
Tabique	pza	860	945	1035	1135	1248	1372	1510	1661	
Cemento	kg	390	430	475	520	572	629	692	761	
Arena	m <sup>3</sup>	0.55	0.605	0.665	0.73	0.8	0.88	0.968	1.065	
Grava (3/4")	m <sup>3</sup>	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.21	1.33	1.46	
Acero #3	m	105	115	125	137	150	165	181	200	
Cimbra	m <sup>2</sup>	9.6	10.55	11.6	12.8	14	15.4	17	19	
Excavación	m <sup>3</sup>	9.6	10.55	11.6	12.8	14	15.4	17	19	
Tubería de concreto simple 6"	m	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tubería de concreto simple 4"	m	2	2	2	2	2	2	2	2	

En cuanto a su ubicación, éstas deberán estar enterradas siempre a 1.5 m por encima del nivel de aguas freáticas, y las distancias mínimas a diversas instalaciones son las señaladas en la **tabla 2.7**.

**Tabla 2.7** Distancias mínimas entre una fosa séptica y diversas instalaciones

INSTALACIÓN	DISTANCIA (m)
Líneas de propiedad	3.3
Pozos	15
Líneas de agua potable y cuerpos de agua	3.3
Edificaciones	1.5

*Canter & Knox, 1985.*

Las fosas sépticas prefabricadas pueden clasificarse en función del material con el que son fabricadas, pudiendo ser concreto, acero al carbón con recubrimiento bituminoso, asbesto-cemento, polietileno de alta densidad o cualquier otro material que cumpla con los parámetros indicados en la normatividad vigente en el sitio en cuestión.

#### **2.4.4 Ventajas y desventajas del uso de fosas sépticas.**

De acuerdo con Canter & Knox (1985), las ventajas que presenta el uso de fosas sépticas son:

1. Requieren de un mantenimiento mínimo, siendo necesario desalojar los lodos en intervalos de tres a cinco años.
2. Su costo es muy bajo en comparación con otras alternativas de tratamiento.
3. El uso de energía eléctrica es nulo.

Las desventajas son:

1. El potencial de contaminación al agua subterránea es grande en zonas en donde por las características del suelo no haya posibilidad de dar una filtración adecuada al efluente.
2. Algunos productos utilizados en la limpieza de los muebles sanitarios, pueden ocasionar problemas en su funcionamiento.
3. Si bien su mantenimiento no necesita ser realizado periódicamente, la falta total de este puede hacer inútil el uso del sistema, al saturarse de lodos.

## CAPÍTULO 3

### EL AGUA EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.

#### 3.1 Ubicación del Campus y características de la zona.

El Campus Universitario, con una extensión de 740 ha y 181 ha de construcción, se encuentra localizado en la parte suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México a una altura de 2278 m sobre el nivel del mar, dentro de la zona de lomas (zona 1), con un suelo preponderantemente rocoso de tipo basáltico (Comisión del Control Ecológico del Campus, 1996).

Las condiciones climatológicas de la región registradas en la región durante el año de 1996, se muestran en la **tabla 3.1**.

#### 3.2 Fuentes de abastecimiento de agua potable en el Campus Universitario.

El Campus Universitario, de acuerdo con la diversidad de actividades que en él se llevan a cabo y a la cantidad de personas a la que diariamente tiene que dotar de servicios, cumple con las características de una ciudad de aproximadamente 90 mil habitantes (Comisión del Control Ecológico del Campus, 1996).

El abastecimiento de agua potable en el Campus, depende en su totalidad de la extracción al acuífero del Valle de México realizada en tres pozos profundos, de los que se obtiene un gasto de 160 lps, los cuales representan el 0.26 % del total abastecido a la ZMVM. El Campus Universitario cuenta con tres sistemas de almacenamiento, conocidos como tanque bajo, tanque alto y cisterna del vivero alto, con una capacidad total de 12 mil m<sup>3</sup>. La red de distribución, con una longitud de 48 kilómetros, en su mayoría tubería de acero de diámetros entre 2" y 20", cuenta con la carga suficiente para dotar satisfactoriamente a la gran mayoría de las instalaciones. Para los casos en que esto no es posible, ya sea por la altura o por la ubicación topográfica, se han construido 34 cisternas secundarias dotadas de equipos hidroneumáticos.

La potabilización del agua se lleva a cabo mediante sistemas de gas cloro instalados en la salida de los pozos, dosificando la cantidad suficiente para cumplir con la especificación establecida de 1 mg/l de cloro residual en el consumo.

Tabla 3.1 Condiciones climatológicas en la región durante el año de 1996

TEMPERATURA (°C)	
Máxima	32
Mínima	-1.5
Media	15.86
Máxima promedio	24.16
Mínima promedio	8.69
HUMEDAD (%)	
Máxima	85.5
Mínima	14.9
Promedio	51.14
PRECIPITACIÓN (mm)	
Precipitación anual	777.1
Tormenta máxima	80.0
EVAPORACIÓN (mm)	
Máxima	8.41
Mínima	0.1
Media	3.76
VIENTO	
Dominante	Norte - Sur

**OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UNAM.**

### 3.3 Tratamiento y disposición de aguas residuales; Programa UNAM-BID.

Hasta hace dos años, el Campus contaba sólo con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico (lodos activados, discos biológicos rotatorios y filtro percolador) con una capacidad de 40 l/s (3456 m<sup>3</sup>/d) y cuyo influente proviene del sistema de alcantarillado cuya extensión no es suficiente para dar servicio a la totalidad de las

instalaciones en el Campus (**figura 3.1**). Actualmente el efluente de esta planta es utilizado para el riego de áreas verdes. Esta situación, resulta preocupante, ya que aproximadamente 72 l/s (6221 m<sup>3</sup>/d) de agua residual sin tratamiento adecuado o nulo son evacuados a grietas, siendo que la región en donde el Campus se localiza es una de las principales áreas de recarga al acuífero del Valle de México. Esto constituye un foco de contaminación y consecuentemente un riesgo para la salud pública en la ZMVM, debido al alto porcentaje con el que el acuífero del Valle de México contribuye al abastecimiento de agua de la misma (**tabla 1.2**). Por otro lado, hay extensiones de áreas verdes en donde las actividades de riego se llevan a cabo con agua potable, situación que resulta inadecuada tomando en cuenta la dificultad y el costo que representa el abastecimiento de agua a la ZMVM.

Ante esta problemática, la UNAM, con recursos financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), desarrolló el **Plan Básico de Saneamiento del Campus Universitario**, que incluye el proyecto de *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario* y cuya finalidad es la de dar tratamiento a la totalidad de las aguas residuales generadas en el Campus, y con ello resolver la problemática enunciada anteriormente y al mismo tiempo ahorrar el recurso mediante el reuso de aguas tratadas para riego de áreas verdes.

Dadas las características geológicas del suelo en el Campus, la dispersión de las instalaciones y el alto costo que implicaría dotar de una red de alcantarillado a la totalidad de las mismas para conducir las aguas residuales hasta una planta de tratamiento, se han proyectado cinco paquetes de licitación pública internacional, para la construcción de la infraestructura necesaria para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el Campus Universitario, a realizarse entre 1996 y 1998. El primero (motivo de esta investigación) ha sido completado con éxito con el proyecto "*Construcción y/o Adecuación de 26 Fosas Sépticas con Postratamiento para Aguas Residuales en el Campus Universitario; Programa UNAM-BID*", con una capacidad global de tratamiento de 2 l/s para descargar agua residual tratada para infiltración al suelo. En esta licitación se buscó la selección de sistemas de tratamiento *in situ* para las instalaciones con particular problemática

en cuanto a tamaño, ubicación y conexión con redes de alcantarillado. En la tabla 3.2 se presentan los sitios en los que fueron instalados los sistemas de tratamiento y la ubicación de estos aparece en la figura 3.1

Tabla 3.2 Ubicación de las 26 fosas sépticas con sistema de postratamiento

FOSA No.	UBICACIÓN	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO (m <sup>3</sup> /d)
F.S. - 01	Registro de aspirantes (oficinas)	5
F.S. - 02	Registro de aspirantes (público)	5
F.S. - 03	Caseta de vigilancia Av. Imán	5
F.S. - 04	Caseta de vigilancia Av. Insurgentes (Zona Cultural)	5
F.S. - 05	Dirección General de Teatro y Danza	10
F.S. - 06	Sala Nezahualcóyotl (ala oriente)	5
F.S. - 07	Caseta de vigilancia Circuito Mario de la Cueva	5
F.S. - 08	Vivero alto (cabaña 1)	5
F.S. - 09	Vivero alto (invernadero)	5
F.S. - 10	Vivero alto (caseta de cloración)	5
F.S. - 11	Mesa vibradora	5
F.S. - 12	Mesa vibradora (taller)	5
F.S. - 13	Jardín Botánico (oficinas)	5
F.S. - 14	Jardín Botánico (baños públicos)	5
F.S. - 15	Posgrado de Odontología (ala norte)	10
F.S. - 16	Posgrado de Odontología (ala sur)	10
F.S. - 17	Caseta de vigilancia Metro Universidad	5
F.S. - 18	Comedor Anexo de Ingeniería	5
F.S. - 19	Caseta de vigilancia Av. Insurgentes (Trabajo Social)	5
F.S. - 20	Caseta de vigilancia (campo de beisbol)	5
F.S. - 21	Planta incineradora	5
F.S. - 22	Canchas de futbol	5
F.S. - 23	Gimnasio	15
F.S. - 24	Subdirección de Medicina Deportiva	5
F.S. - 25	Unión de Universidades de América Latina (UDUAL)	5
F.S. - 26	Caseta de vigilancia (ala poniente del Estadio Olímpico)	5

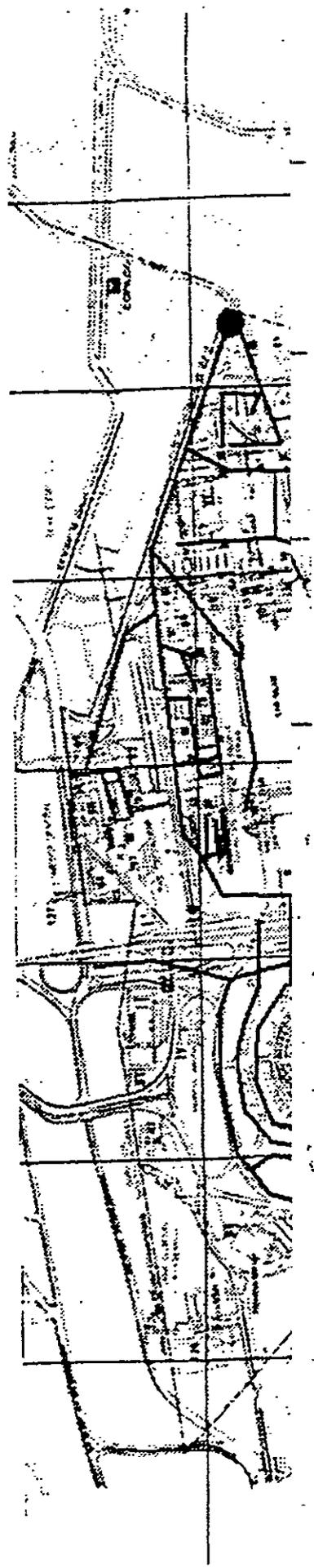


Figura 3.1 Red de drenaje existente en el Campus Universitario y ubicación de las 26 fosas sépticas con postratamiento

## CAPÍTULO 4

# LICITACIÓN DEL CONCURSO "CONSTRUCCIÓN Y/O ADECUACIÓN DE 26 FOSAS SÉPTICAS CON POSTRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO".

### 4.1 Logística adoptada para el proceso de licitación.

La coordinación de los trabajos de licitación de este proyecto, fue responsabilidad de la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM, que asesorada por el Instituto de Ingeniería, realizó una convocatoria a precio alzado con carácter internacional, a la cual podían responder empresas provenientes de los 46 países integrantes del Banco Interamericano de Desarrollo, con una propuesta contemplando para su realización un mes para la preparación del proyecto ejecutivo, tres meses para la terminación de las obras a partir de la aprobación del proyecto ejecutivo, y tres meses para el monitoreo del funcionamiento de las instalaciones de tratamiento.

Dicha convocatoria fue lanzada el 14 de marzo de 1996, quedando como fecha límite para la inscripción de empresas el 29 del mismo, siendo en total 28 empresas las que se inscribieron. El día 28 de marzo, se llevó a cabo la visita al sitio de obra, en la que entre los aspectos mas relevantes, los asistentes vieron las condiciones del terreno sobre el que se llevaría a cabo el trabajo, así como las condiciones y características de las fosas sépticas preexistentes, observaciones que son mostradas en la **tabla 4.1**. Posterior a la visita, se llevó a cabo la junta de aclaraciones.

Tabla 4.1 Fosas sépticas preexistentes y características del sitio en que éstas se ubican

CLAVE	UBICACION	FOSAS PREEXISTENTES	TIPO DE TERRENO	PROFUNDIDAD (m)
F.S. 01	Registro de aspirantes (oficinas)	*	III	*
F.S. 02	Registro de aspirantes (público)	1, Hecha en obra.	III	A nivel de terreno
F.S. 03	Caseta de vigilancia Av. del Imán.	1, Sanimex-Montiel	III	A nivel de terreno
F.S. 04	Caseta de vigilancia (Av. Insurgentes, Zona Cultural)	*	III	*
F.S. 05	Dirección de Teatro y Danza	2, Sanimex-Montiel	III	A nivel de terreno
F.S. 06	Sala Nezahualcóyotl (Ala oriente)	1, Hecha en obra	III	0.5
F.S. 07	Caseta de vigilancia (Circuito Mario de la Cueva)	1, Sanimex-Montiel	III	A nivel de terreno
F.S. 08	Vivero alto (cabaña 1)	1, Hecha en obra.	III	0.5
F.S. 09	Vivero alto (invernadero)	2, Mexalit	III	A nivel de terreno
F.S. 10	Vivero alto (caseta de cloración)	1, Mexalit	III	0.5
F.S. 11	Mesa vibradora	1, Hecha en obra	III	A nivel de terreno
F.S. 12	Mesa vibradora (taller)	1, Sanimex-Montiel	III	0.5
F.S. 13	Jardín Botánico (oficinas)	*	III	*
F.S. 14	Jardín Botánico (baños públicos)	1, Hecha en obra	III	1
F.S. 15	Posgrado de odontología (ala norte)	2, Sanimex-Montiel	III	1
F.S. 16	Posgrado de odontología (ala sur)	1, Sanimex-Montiel	III	1
F.S. 17	Caseta de vigilancia (Metro C.U.)	1, Mexalit 1, Hecha en obra	III	1

**Tabla 4.1 Fosas sépticas preexistentes y características del sitio en que éstas se ubican (continuación)**

CLAVE	UBICACIÓN	FOSAS PREEXISTENTES	TIPO DE TERRENO	PROFUNDIDAD (m)
F.S. 18	Comedor Anexo de Ingeniería	1, Hecha en obra	III	A nivel de terreno
F.S. 19	Caseta de vigilancia Av. Insurgentes (Trabajo Social)	1, Sanimex-Montiel	III	A nivel de terreno
F.S. 20	Caseta de vigilancia (campo de béisbol)	*	III	*
F.S. 21	Planta incineradora	1, Mexalit	III	1
F.S. 22	Canchas de fútbol	1, Hecha en obra	III	1
F.S. 23	Gimnasio	*	III	*
F.S. 24	Subdirección de Medicina Deportiva	*	III	*
F.S. 25	Unión de Universidades de América Latina (UDUAL)	1, Mexalit	III	0.5
F.S. 26	Caseta de vigilancia (ala poniente del Estadio Olímpico)	1, Sanimex-Montiel	III	0,5

\* No existe

III Terreno rocoso

La entrega de propuestas se llevó a cabo el día 12 de abril en dos sobres, uno con la propuesta técnica y el otro con la propuesta económica.

En la propuesta técnica, se incluyó la documentación que acreditara la identidad del licitante, así como su capacidad técnica y financiera, incluyendo la propuesta de ingeniería para la realización de las obras. En la **tabla 4.2** se muestran los documentos solicitados en la propuesta técnica.

Tabla 4.2 Documentos presentados en la propuesta técnica

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Información financiera comprobando un capital contable mínimo de \$650 000.00 M/N.
2	Copias certificadas originales relativas a la condición o constitución jurídica del licitante, lugar de inscripción y principal sede de sus actividades; un poder notarial en el que se otorguen facultades al firmante de la propuesta para comprometer al licitante.
3	Registro actualizado en la cámara de la industria que corresponda.
4	Manifestación escrita de conocer el sitio de los trabajos, así como las modificaciones realizadas en la junta de aclaraciones.
5	Programas calendarizados de la ejecución de los trabajos.
6	Relación de subcontratos.
7	Relación de contratos en vigor celebrados tanto con la Administración Pública como con particulares.
8	Curricula de personal, debiendo acreditar en la misma una experiencia mínima de tres años en proyectos similares por parte del director de proyecto.
9	Declaración por escrito de no estar ni haber estado en asociación directa ó indirecta, con algún consultor u organismo que haya supervisado, preparado el diseño, las especificaciones y los demás documentos de la licitación, y de no tener relación familiar con miembros del Comité de Obras de la UNAM.
10	Acreditación de tener una experiencia mínima de tres años en proyectos de naturaleza similar al del proyecto en cuestión.
11	Propuesta de ingeniería, conteniendo los dos apartados a continuación descritos: <u>1.- Introducción:</u> 1.1.- Resumen descriptivo. 1.2.- Diagrama de flujo de proceso, calidad del agua de salida y manejo de subproductos. 1.3.- Arreglo general de las instalaciones

Tabla 4.2 Documentos presentados en la propuesta técnica (Continuación)

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
	<u>2.- Descripción.</u> 2.1.- Anteproyecto, dimensionamiento básico y memoria de cálculo. 2.2.- Descripción de unidades de tratamiento. 2.3.- Perfil hidráulico. 2.4.- Garantía de confiabilidad de cada uno de los procesos. 2.5.- Programa de trabajo. 2.6.- Relación de personal técnico, administrativo y operativo.

En el segundo sobre solicitado, fueron incluidos los documentos referentes a la propuesta económica, mismos que son mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Documentos presentados en la propuesta económica

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
12	Garantía de la propuesta y formulario de la propuesta.
13	Importes parciales de cada una de las instalaciones de tratamiento y el total de la proposición.
14	Programa de montos mensuales de ejecución de los trabajos.

En total, fueron 14 las empresas que entregaron su propuesta. Cabe señalar que la garantía de la propuesta solicitada en el documento 12, tuvo un monto equivalente al 5% de la propuesta, y ésta fue regresada, para el caso de los licitantes perdedores, el día de la adjudicación del contrato. Para el caso del ganador, se regresó a la firma del contrato, contra la entrega de la garantía de cumplimiento del mismo, que a su vez fue restituida con la entrega de instalaciones contra la presentación de una fianza por defectos y vicios ocultos.

La apertura de las propuestas técnicas se llevó a a cabo el mismo día de la entrega, verificando que cada una de ellas contuviera todos los documentos requeridos y una propuesta de ingeniería solvente.

## 4.2 Evaluación de propuestas.

A partir de la apertura técnica, fueron descartadas las propuestas de siete empresas, una de ellas por no cumplir con los requerimientos de área para las instalaciones indicados en los anexos técnicos de las bases de licitación, que eran de 20, 30 y 40 m<sup>2</sup> para las instalaciones de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d, respectivamente. Las otras seis empresas fueron descartadas por la falta de alguno de los documentos requeridos para la propuesta técnica.

Las propuestas económicas de los aspirantes que presentaron una propuesta técnica solvente, fueron abiertas el día 15 de abril, y después de revisar cual de ellas era la propuesta económicamente más baja, el día 3 de mayo se realizó la adjudicación.

## 4.3.- Adjudicación.

El contrato fue adjudicado a la empresa que realizó la propuesta económica más baja, proponiendo un sistema de tratamiento anaerobio a base de una planta paquete denominada *Bioreactor Anaerobio Integrado*. En la tabla 4.4 se muestra la relación de empresas cuya propuesta económica fue evaluada y la diferencia porcentual de la oferta realizada por las mismas con respecto a la oferta más baja.

Tabla 4.4 Diferencias porcentuales de las ofertas presentadas con respecto a la más baja

EMPRESA	MONTO DE LA OFERTA
Ganadora	El más bajo
Empresa 1	38% más elevado
Empresa 2	44% más elevado
Empresa 3	50% más elevado
Empresa 4	63% más elevado
Empresa 5	70% más elevado
Empresa 6	71% más elevado

Es necesario señalar que la diferencia tan marcada entre las ofertas se debió a que mientras la empresa ganadora propuso un sistema anaerobio, que no requiere de motores

y energía eléctrica para su funcionamiento, y cuyo mantenimiento se limita a su limpieza, las demás empresas propusieron un tratamiento a base de plantas paquetes de aeración extendida, cuyo costo de inversión es substancialmente más elevado que el del tratamiento elegido, y las condiciones de operación y mantenimiento son más complicados y costosos, debido a que para su funcionamiento requieren de motores y de energía eléctrica.

## CAPÍTULO 5

## BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

### 5.1 Descripción general y funcionamiento.

El bioreactor anaerobio integrado (figura 5.1) instalado para dar postratamiento al efluente de 26 fosas sépticas en el Campus Universitario, es una planta de tratamiento de aguas residuales tipo paquete que engloba los procesos llevados a cabo en un reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos y en un filtro anaerobio, complementados por una zona de sedimentación, contenidos en un recipiente cilíndrico en su tramo intermedio y con atolvamientos en sus extremos superior e inferior, al cual el agua ingresa por medio de un tubo de alimentación coaxial que conduce al influente hasta el fondo del recipiente.

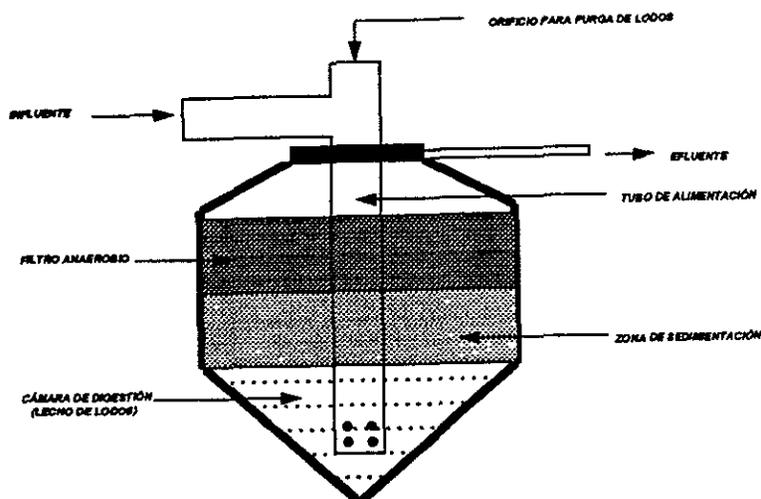


Figura 5.1 Bioreactor Anaerobio Integrado

Los trenes de tratamiento instalados en el Campus a partir de este sistema fueron dos, uno para las instalaciones con capacidad de  $5\text{m}^3/\text{d}$  y otro para las instalaciones de  $10$  y  $15\text{m}^3/\text{d}$  (figura 5.2 y figura 5.3).

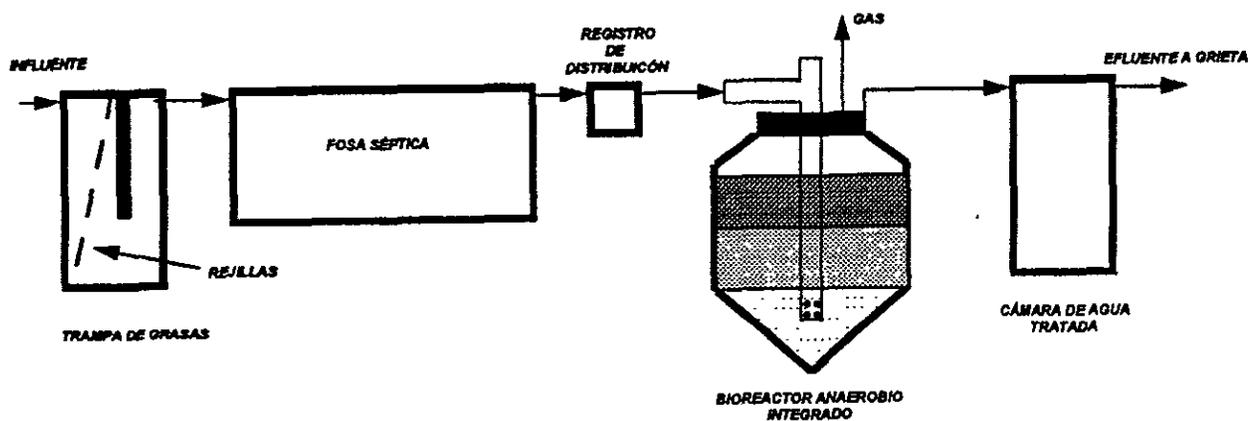


Figura 5.2 Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de  $5\text{m}^3/\text{d}$

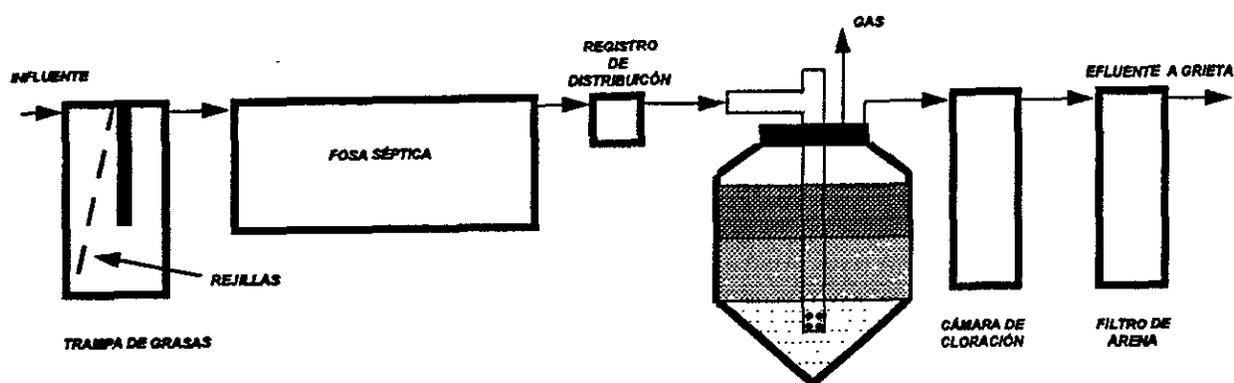


Figura 5.3 Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de  $10\text{m}^3/\text{d}$  y  $15\text{m}^3/\text{d}$

De acuerdo al tiempo de retención requerido para el tratamiento (1 día) y al volúmen de cada reactor ( $2.5\text{ m}^3$ ), fueron instalados 2, 4 y 6 reactores para las instalaciones de 5, 10 y  $15\text{ m}^3/\text{d}$ , respectivamente.

Las finalidades principales de cada elemento en el sistema de tratamiento, se detallan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Elementos de los trenes de tratamiento instalados y finalidades de los mismos.

ELEMENTO	FINALIDAD
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pretratamiento:</li> <li>- Rejillas:</li> <li>- Desarenador:</li> <li>- Separador de grasa:</li> </ul>	<p>Atrapar el contenido de sólidos y basuras flotantes que pueden interferir en el funcionamiento del sistema de tratamiento.</p> <p>Separar del agua residual la gravilla, arena y partículas finas, con el fin de evitar la proucción de asentamientos indeseables en interconexiones, conductos y dentro del reactor.</p> <p>Por medio de un sello hidráulico, proporcionado por una mampara, y de la diferencia de densidades del agua y de las grasas, propicia la retención de las últimas para su remoción periódica.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fosa séptica:</li> </ul>	<p>Proporcionar un tratamiento a nivel primario al agua residual por medio del proceso descrito en el inciso 2.4.3</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro de distribución:</li> </ul>	<p>Distribuir de manera homogénea el influente a los reactores.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioreactor anaerobio integrado:</li> <li>- Cámara de digestión:</li> <li>- Zona de sedimentación:</li> <li>- Filtro anaerobio:</li> </ul>	<p>Alojar un lecho de lodos que se mantenga parcialmente mezclado por la acción combinada de la evacuación de los gases y el flujo ascendente del agua.</p> <p>Remover los sólidos sedimentables del agua y retener las partículas de lodo biológicos que ascienden adheridas a las burbujas de gas formadas en la digestión.</p> <p>Dar un pulimiento al tratamiento realizado por el lecho de lodos y por la zona de sedimentación a través de un empaque cilindrico de alta superficie de contacto instalado sobre las placas de la zona de sedimentación.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara de cloración :</li> </ul>	<p>Recepción de la dosificación de cloro al efluente de los reactores para la remoción de patógenos y permitir la reacción por el tiempo necesario.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de arena :</li> </ul>	<p>Retener sólidos suspendidos que no hubiesen podido ser retenidos en los reactores.</p>

Sólo en instalaciones con capacidad de tratamiento de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d.

## 5.2 Proceso constructivo.

La construcción de cada una de las instalaciones de tratamiento se realizó en aproximadamente un mes. En la **tabla 5.2** se muestra la calendarización promedio observada para la construcción de la obra civil y la instalación de los reactores. Cabe

mencionar que la construcción de las 26 instalaciones se realizó en bloques, y que el tiempo aproximado de terminación de la obra fue de seis meses.

**Tabla 5.2** Calendarización de las actividades necesarias para la habilitado de las instalaciones de tratamiento

ACTIVIDAD	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Deshierbe y desmonte.																											
Ubicación de fosa séptica preexistente.																											
Trazado																											
Excavación.																											
Construcción de fosa séptica (en caso de no ser ubicada fosa preexistente).																											
Construcción de cajón para reactores.																											
Construcción de registros.																											
Instalación de reactores.																											
Instalación de tubería de interconexión y equipo de cloración.																											
Adecuación del filtro.																											
Construcción e instalación de losas para cubrir el cajón de los reactores																											
Herrería.																											
Pintura en tapas de registros.																											

Una vez efectuado el deshierbe y desmonte de la zona de obra, se localizaron las fosas sépticas preexistentes, y se llegó a la conclusión de que para todos los casos señalados en el capítulo anterior, estaban en condiciones de seguir siendo utilizadas favorablemente, por lo que sólo fue necesaria la habilitación de fosas sépticas en las instalaciones en las que no se ubicó ninguna, las cuales fueron la F.S. 01 (Registro de aspirantes, oficinas), F.S. 13 (Jardín botánico, oficinas), F.S. 20 (Caseta de vigilancia, campo de béisbol), F.S. 23 (Gimnasio), y F.S. 24 (Subdirección de Medicina Deportiva), en donde se construyeron fosas sépticas tipo estándar (un solo compartimiento).

Posteriormente, se procedió al trazado con cal de las áreas en las que llevó a cabo la excavación para alojar las instalaciones de tratamiento, tales como la fosa séptica, en caso de ser necesaria su construcción, el cajón para alojar los reactores, y los registros necesarios dependiendo del esquema requerido por instalación. La actividad que más tiempo y que con ello más costosa resultó en la habilitación de las instalaciones, fue la excavación, debido a que el nivel de arrastre del efluente de las fosas sépticas se encontró

en la gran mayoría de las ocasiones muy cerca del estrato rocoso y la ubicación topográfica del mismo requirió excavar para colocar los reactores en un nivel apropiado para proporcionar la carga hidráulica necesaria para el funcionamiento del sistema. La excavación para construir el cajón en donde fueron alojados los reactores se llevó a cabo generalmente en roca sana.

Para el caso de las instalaciones ubicadas en la F.S. 01 (Registro de aspirantes, oficinas), F.S. 03 (Caseta de vigilancia Av. del Imán), F.S. 04 (Caseta de vigilancia Av. Insurgentes, Zona Cultural), F.S. 05 (Dirección General de Teatro y Danza), F.S. 06 (Sala Nezahualcóyotl, ala oriente), F.S 07 (Caseta de Vigilancia Circuito Mario de la Cueva), F.S. 11 (Mesa vibradora), F.S. 13 (Jardín Botánico, oficinas), y F.S. 17 (Caseta de vigilancia Metro C.U.), las instalaciones fueron construídas a nivel superficial debido a que el nivel de arrastre del efluente de las fosas sépticas y la topografía del sitio proporcionaban condiciones favorables para obtener carga hidráulica suficiente para el tratamiento de esta manera.

En todos los casos, los cajones para alojar los reactores, fueron construídos con base en roca obtenida de la excavación, realizando la unión con mortero, en tanto que las fosas sépticas construídas, registros (de distribución e inspección), cámaras de agua tratada para el caso de las instalaciones de  $5\text{m}^3/\text{d}$  de capacidad, y cámaras para la cloración y el filtrado para el caso de las instalaciones de 10 y  $15\text{m}^3/\text{d}$  de capacidad fueron hechas con tabique rojo recocido, unido y aplanado con mortero, utilizando en castillos y dalas de despiante y de cerramiento, varilla del #3 para refuerzo.

La colocación de los reactores, implicó un detallado trabajo de nivelación, cuidando que su nivel de entrada quedara por debajo del nivel de arrastre del efluente de la fosa séptica, debido a que el proceso podía quedar inutilizado por la pérdida de carga hidráulica disponible.

Una vez colocados los reactores, se procedió a instalar la tubería de interconexión, en su totalidad de PVC, entre el registro de distribución, los reactores y el efluente de los mismos.

Para el caso de las instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d, el sistema de cloración consistió de un recipiente de 50 l de capacidad, con tuberías y válvulas de PVC calibradas para dosificar hipoclorito de sodio a una concentración de 6 y 12 ppm al efluente de las instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d respectivamente. Para el filtrado del efluente, en el tanque de filtrado se habilitaron tres capas de grava de 19, 13 y 6 mm de diámetro de partícula y una de gravilla de 2 mm de diámetro de partícula.

Una vez instalados los equipos de tratamiento, los cajones de alojamiento de los reactores fueron cubiertos con tabletas de concreto reforzado con varilla del #4, dejando siempre accesos de 0.6m x 0.6m para el mantenimiento. Las cámaras de agua tratada, registros de cloración y filtros, fueron cubiertos con tapas metálicas.

Finalmente, todas las tapas de registros y cámaras fueron pintadas de color naranja, para facilitar su ubicación en el lugar donde fueron instaladas.

### 5.3 Puesta en marcha

Una vez concluidas la construcción de la obra civil y la instalación de las unidades de tratamiento, y de acuerdo con lo establecido en las bases de licitación, se iniciaron los trabajos de verificación de la calidad del agua tratada, seleccionando para este propósito los efluentes de las instalaciones indicadas en la **tabla 5.3**.

De acuerdo con la legislación mexicana vigente a la fecha de la convocatoria de licitación, no existía ninguna Norma Oficial Mexicana que regulara la calidad del agua tratada con fines de infiltración al terreno cuando el caudal de las descargas fuera menor o igual a 15m<sup>3</sup>/d. Esto llevó a la necesidad de establecer los parámetros y límites máximos permisibles que deberían de cumplir los efluentes de las instalaciones de tratamiento.

Tabla 5.3 Instalaciones seleccionadas para monitoreo

CLAVE	UBICACIÓN	CAPACIDAD (m <sup>3</sup> /d)
F.S. 06	Sala Nezahualcóyotl (ala oriente).	5
F.S. 18	Comedor Anexo de Ingeniería.	5
F.S. 24	Subdirección de Medicina Deportiva.	5
F.S. 25	Unión de Universidades de América Latina (UDUAL).	5
F.S. 26	Caseta de vigilancia (ala poniente Estadio Olímpico).	5
F.S. 05	Dirección de Teatro y Danza.	10
F.S. 15	Posgrado de Odontología (ala norte).	10
F.S. 23	Gimnasio.	15

De tal manera, las condiciones de calidad solicitada para los efluentes de las instalaciones con capacidad de 5 m<sup>3</sup>/d, se muestran en la **tabla 5.4**, las cuales deberían ser cumplidas durante 10 días consecutivos.

Tabla 5.4 Límites máximos permitidos en los efluentes de las instalaciones de 5 m<sup>3</sup>/d

PARAMETRO	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/l)	140	210
Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/l)	80	120

Para el caso de las instalaciones con capacidades de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d, se aplicaron las condiciones establecidas en la **tabla 5.5**, en donde con excepción de la DQO y los coliformes totales, los valores corresponden a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-CCA-026-ECOL/1993, que regula los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de restaurantes o de hoteles, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de Octubre de 1993. El parámetro microbiológico coliformes fecales, fue establecido por medio de la aplicación de los Criterios de Calidad del Agua Para Uso Recreativo con Contacto Primario (CE-CCA-001/89), publicados en 13 de Diciembre de 1989 en el Diario Oficial de la Federación. Para el caso de la DQO, su límite máximo fue establecido a partir de un factor de conversión de DBO<sub>5</sub> a DQO de 2.67. Estos parámetros deberían ser cumplidos durante 10 días consecutivos.

**Tabla 5.5** Límites máximos permitidos en los efluentes de las instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d

PARAMETRO	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub> (mg/l)	30	45
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/l)	80	120
Grasas y Aceites (mg/l)	15	20
Sólidos Suspendedos Totales SST (mg/l)	30	45
Sustancias Activas al Azul de Metilano SAAM (mg/l)	3	6
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	200	300

Como información de referencia para los licitantes, los anexos técnicos de las bases de licitación incluyeron las características típicas de aguas residuales de diferentes dependencias universitarias, las cuales se muestran en la **tabla 5.6**.

#### 5.4 Resultados

El muestreo y análisis de muestras de los efluentes de las instalaciones de tratamiento se llevó a cabo en cuatro etapas:

- La primera, realizada durante el mes de diciembre de 1996, con 64 análisis de DQO (incluyendo total y soluble) y 38 análisis de SST para cada una de las instalaciones seleccionadas.
- La segunda, realizada durante la primera quincena del mes de enero de 1997, con 48 análisis de DQO (incluyendo total y soluble) y 24 análisis de SST para cada una de las instalaciones seleccionadas

Tabla 5.6 Caracterización de las aguas residuales generadas en el Campus Universitario (Noyola et al., 1995)

PARÁMETRO	Facultades e Institutos	Comedores	Oficinas Administrativas	Auditorios
Tempertatura T (°C)	18	20	16	18
Oxígeno Disuelto OD (mg/l)	3.5	4.1	5.3	2.5
Potencial de Hidrógeno pH (unidades de pH)	8	8	7	8
Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/l)	300	236	265	126
Sólidos Suspendidos Volátiles SSV (mg/l)	225	181	206	106
Sólidos Suspendidos Fijos SSF (mg/l)	75	56	59	20
Sólidos Sedimentables Ssed (mg/l)	5.5	1	5.6	9
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub> (mg/l)	145	166	173	100
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/l)	650	560	785	400
Coliformes Totales CT (NMP/100ml)	2e+7	2e+7	3e+7	2e+7
Ortofosfatos P PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	5	10.5	6.1	5.7
Grasas y Aceites GyA (mg/l)	37	22.2	33	12
Nitrógeno Amoniacal N NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	35	21.7	83	10
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	190	204	441	270

- La tercera, realizada durante la primera quincena de febrero de 1997, en la que se llevó a cabo el aforo de los diferentes influentes y efluentes monitoreados, con mediciones de volumen y tiempo o mediante la utilización de un equipo electrónico para medición de flujos (Flo-Tote modelo 260 marca Marsh McBirney) dependiendo las condiciones del sitio, así como la caracterización tanto de los influentes como de los efluentes en las instalaciones que no habían cumplido en las primeras dos etapas con la calidad del agua requerida en los anexos técnicos de las bases de licitación.
- La cuarta, en la que se hizo un estudio del comportamiento de las instalaciones de tratamiento en las horas en las que el flujo no presentaba variaciones que pudiesen afectar su funcionamiento.

Los resultados obtenidos durante la primera y la segunda etapas de muestreo y análisis de los efluentes de las instalaciones monitoreadas, mostraron que solo las F.S. 06 y F.S. 24

cumplían con la calidad establecida, en tanto las demás no cumplían con los valores estipulados para la DQO.

Los resultados promedio de SST y DQO obtenidos a partir de las muestras de los efluentes analizadas durante la 1ª y la 2ª etapas de análisis se muestran en la **tabla 5.7**.

**Tabla 5.7** Resultados promedio obtenidos durante la 1º y 2º etapas de análisis

CLAVE	UBICACIÓN	CAPACIDAD (m <sup>3</sup> /d)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
F.S. 06	Sala Nezahualcóyotl (ala oriente).	5	145	52
F.S. 18	Comedor Anexo de Ingeniería.	5	819	79
F.S. 24	Subdirección de Medicina Deportiva.	5	70	31
F.S. 25	Unión de Universidades de América Latina (UDUAL).	5	296	61
F.S. 26	Caseta de vigilancia (ala poniente del Estadio Olímpico).	5	252	40
F.S. 05	Dirección de Teatro y Danza.	10	368	35
F.S. 15	Posgrado de Odontología (ala norte).	10	268	38
F.S. 23	Gimnasio.	15	289	36

Con la finalidad de precisar el motivo por el cual las instalaciones no estaban cumpliendo con la calidad esperada en los efluentes, se llevó a cabo la tercera etapa de muestreo antes descrita, en donde se observó que las características de los influentes y flujos observadas, si correspondían a los propuestos en los anexos técnicos de las bases de licitación, con excepción de la F.S. 18 (Comedor Anexo de Ingeniería), en donde se pudo observar que la  $DQO_t$  en el influente fue más alta de lo que se había supuesto (3523 mg/l). No obstante a lo anterior, la eficiencia de eliminación de  $DQO_t$  del sistema en este sitio fue superior al 80%.

Los resultados promedio obtenidos a partir de la 3ª etapa de análisis tanto para los efluentes como para los influentes se muestran en las **tablas 5.8 y 5.9**, así como los resultados obtenidos a partir de los aforos, mostrados en la **tabla 5.10** y en los hidrogramas mostrados en las **figuras 5.4 a 5.10**.

Tabla 5.8 Resultados promedio obtenidos durante la 3ª etapa de análisis para las instalaciones de 5 m<sup>3</sup>/d

PARAMETRO	F.S. 18 (O. ANEXO DE I.)		F.S. 24 (SUB. MED. DEP.)		F.S. 26 (IDUAL)		F.S. 26 (CASETA EST.)	
	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE
Ph (unidades de pH)	6.1	6.2	8	8	7.5	7.5	7.2	7.7
Temperatura (°C)	19.5	19.3	19.1	17.9	13.2	13	14.5	15
DQO (mg/l)	3523	497	337	124	582	203	220	178
SST (mg/l)	180	110	116	93	97	85	143	92

Tabla 5.9 Resultados promedio obtenidos durante la 3ª etapa de análisis para las instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d

PARAMETRO	F.S. 06 (T.Y.D.)		F.S. 16 (ODONT. NTE)		F.S. 21 (GIMNASIO)	
	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE
pH (unidades de pH)	7.3	7.6	7.3	7.5	7.8	7.8
Temperatura (°C)	15.4	16.1	16.2	14.2	25.1	22.1
DQO (mg/l)	137	105	531	203	178	174
SST (mg/l)	107	92	110	89	107	101

Tabla 5.10 Resultados de los aforos realizados por instalación de tratamiento durante la 3ª etapa de análisis

HORA	Q (l/h)						
	F.S. 18 ANEXO DE I.	F.S. 24 MED. DEP.	F.S. 26 IDUAL	F.S. 26 CASETA EST.	F.S. 06 T.Y.D.	F.S. 16 ODONT. NTE	F.S. 21 GIMNASIO
8:00	37.5	25.02	10.83	20.83	93.41	248.95	145.83
9:00	58.33						354.17
10:00	295.83	42.12	4.17	37.5	75.48	148.87	691.67
11:00	137.5						525
12:00	641.67	198.08	14.58	30.83	58.8	214.76	270.83
13:00	108.33						325
14:00	85.55	22.94	169.17	47.5	42.95	47.96	227.5
15:00	304.31						14.7
16:00	144.9	42.12	21.67	49.17	44.2	72.14	1075
17:00	137.61						16.6
18:00	16.68	25.02	50	9.17	35.45	51.29	227.5
Promedio	177.95	59.21	45.67	32.5	63.38	130.86	392.16
Máximo	641.67	198.08	169.17	49.5	83.41	248.95	1075
Mínimo	16.68	22.94	4.17	9.17	35.45	47.96	14.7

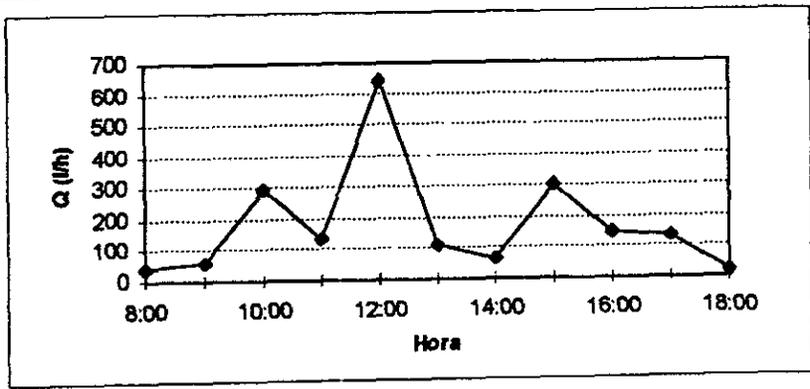


Figura 5.4 Hidrograma F.S. 18 (Comedor Anexo de Ingeniería)

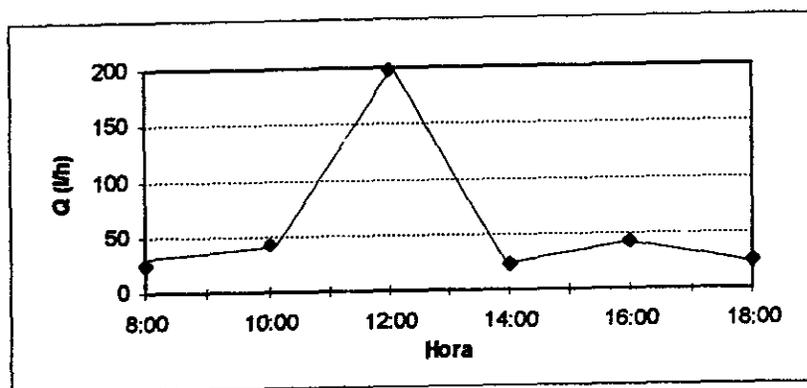


Figura 5.5 Hidrograma F.S. 24 (Medicina del Deporte)

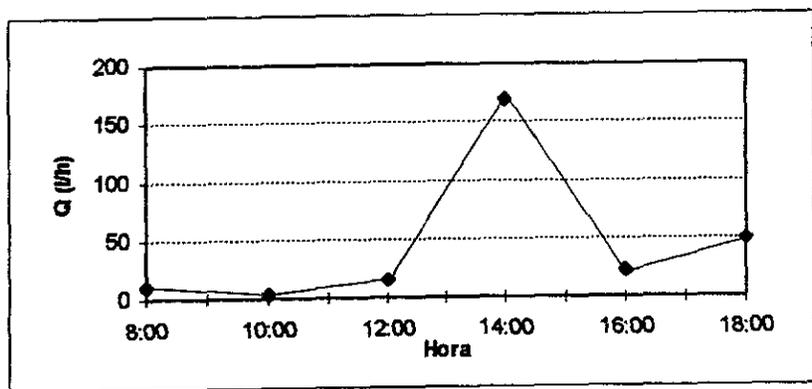


Figura 5.6 Hidrograma F.S. 25 (UDUAL)

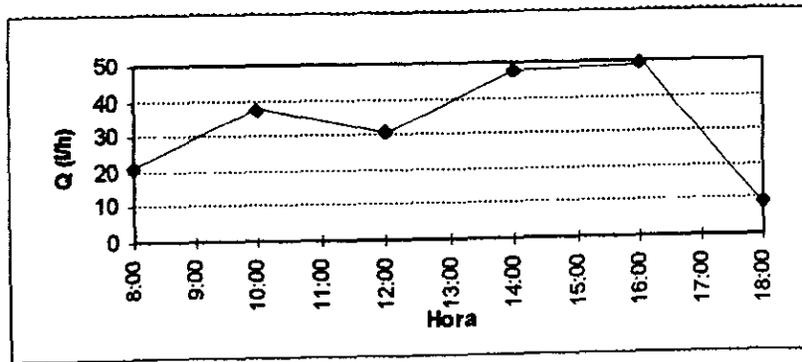


Figura 5.7 Hidrograma F.S. 26 ( Caseta de Vigilancia Estadio Olímpico)

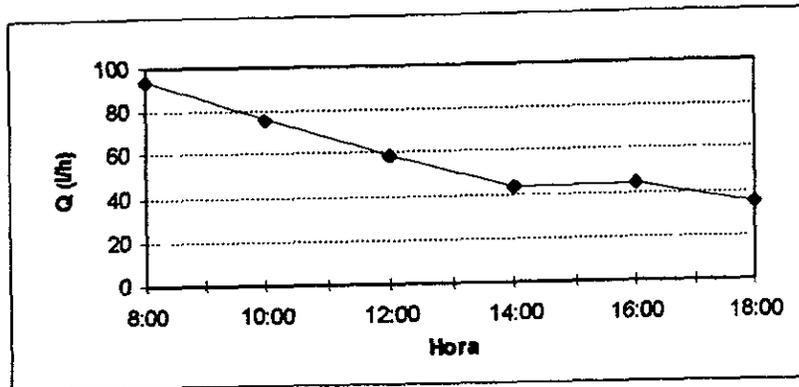


Figura 5.8 Hidrograma F.S. 05 (Teatro y Danza)

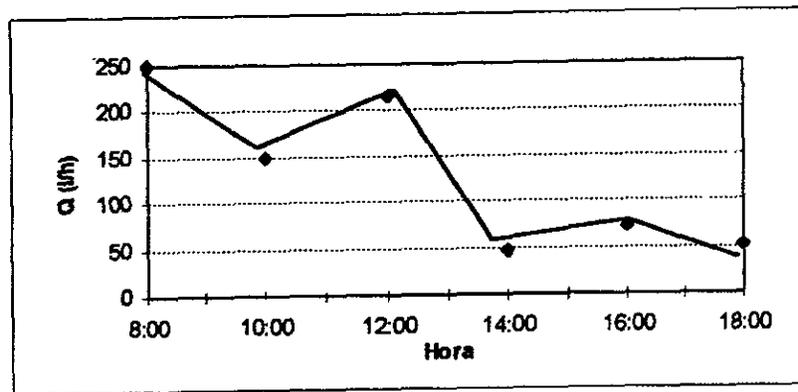


Figura 5.9 Hidrograma F.S. 15 (Posgrado de Odontología)

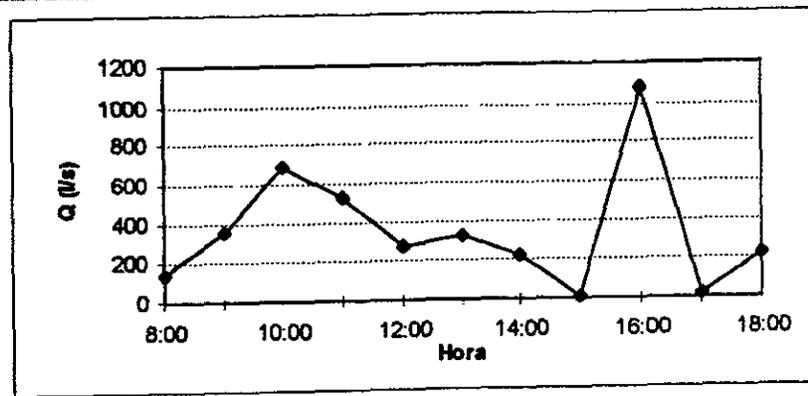


Figura 5.10 Hidrograma F.S. 23 (Gimnasio)

Por otra parte, para el caso de la F.S. 23 (Gimnasio), en la tercera etapa se detectó que no cumplía con el parámetro de SST, observándose además que de acuerdo a las lecturas obtenidas por medio del equipo electrónico de aforo antes mencionado, que si bien el flujo promedio registrado era menor al de diseño ( $8.5 \text{ m}^3/\text{d}$ ), durante ciertos lapsos del día existían fuertes choques hidráulicos, de donde se pudo establecer que la instalación no cumplía con la calidad de agua tratada debido fundamentalmente a dos aspectos:

- A que el tiempo de retención hidráulica TRH de la instalación durante estos choques es substancialmente menor al de diseño, por lo que la población bacteriana, tanto en la fosa séptica como en los reactores, no tiene tiempo suficiente para completar la degradación de la materia orgánica que entra al sistema.
- Se puede esperar que estos choques provoquen también el arrastre de biomasa de la fosa séptica y/o el desprendimiento de biopelícula de la zona de filtración anaerobia en los reactores provocando al mismo tiempo una disminución en la capacidad de remoción de materia orgánica en los mismos.

En general, se pudo observar con base en esta tercera etapa de análisis del comportamiento del sistema, que las instalaciones requerían de un tiempo de estabilización para generar la biomasa necesaria para llevar a cabo la biodegradación de materia orgánica presente en el agua residual, el cual era mayor a los 90 días estipulados en las bases de licitación para cumplir con las calidades indicadas en las mismas.

Finalmente, como resultado de los estudios realizados, se acordó que para evaluar la capacidad de las instalaciones de tratamiento, era necesario analizar las muestras de los efluentes durante los períodos de tiempo en que esta recibían el flujo de diseño (entre las 14:00 y las 16:00 horas) con el fin de evitar los efectos de las sobrecargas hidráulicas, así como elevar en las instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d las dosis de hipoclorito de sodio a 12 y 15 ppm, con el fin de reducir la DQO en el efluente. Dicho estudio constituyó la cuarta etapa de muestreo y análisis y se llevó a cabo del 28 de abril al 2 de mayo de 1997.

A partir de esta cuarta etapa, se observó que las instalaciones estaban ya cumpliendo con la remoción de DQO, mientras que los SST estaban fuera del intervalo establecido para varias instalaciones, situación posiblemente justificable debido a que los reactores habían trabajado ya casi siete meses, por lo que requerían de la purga de biomasa en exceso. De esta manera, se evaluaron los demás parámetros requeridos en los anexos técnicos de las bases de licitación, obteniendo resultados dentro de los intervalos establecidos.

Los resultados obtenidos durante la 4ª etapa de muestreo se señalan en las tablas 5.11 y 5.12.

Tabla 5.11 Resultados promedio obtenidos durante la 4ª etapa de muestreo de los efluentes en instalaciones de 5m<sup>3</sup>/d

INSTALACIÓN	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
Solicitado en las bases de licitación	210	120
F.S. 06 (Sala Nezahualcóyotl)	196	24
F.S. 18 (Comedor Anexo de Ingeniería)	803	85
F.S. 24 (Medicina Deportiva)	76	46
F.S. 25 (UDUAL)	174	82
F.S. 26 (Caseta Estadio Olímpico)	103	84

**Tabla 5.12** Resultados promedio obtenidos durante la 4ª etapa de muestreo de los efluentes en instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d

Instalación	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	pH	DBO (mg/l)	G y A (mg/l)	SAAM (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100ml)
Solicitado en las bases de licitación	120	45	6-9	45	20	6	300
F.S. 05 (Teatro y Danza)	105	89	7.36	39	6	2.7	110
F.S. 15 ( Posgrado de Odontología Norte)	112	89	7.48	42	8	0.15	100
F.S. 23 (Gimnasio)	115	101	7.79	42	10	3.5	100

De manera paralela a la cuarta etapa de análisis, con lodo anaerobio proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales ubicada en el municipio de Atlamaxac, Tlaxcala, se inocularon con un volumen equivalente al 10% de su capacidad (250 l) los reactores ubicados en las instalaciones de la F.S. 17 (Caseta de vigilancia, Metro C.U.), dando un seguimiento previo y posterior al inóculo durante los meses de abril, mayo, junio y julio de 1997. Lo anterior se realizó con el fin de disminuir el tiempo de estabilización de las instalaciones, ya que probablemente, y de acuerdo con los resultados descritos anteriormente, el problema principal de los reactores estaba relacionado con la carencia inicial de biomasa.

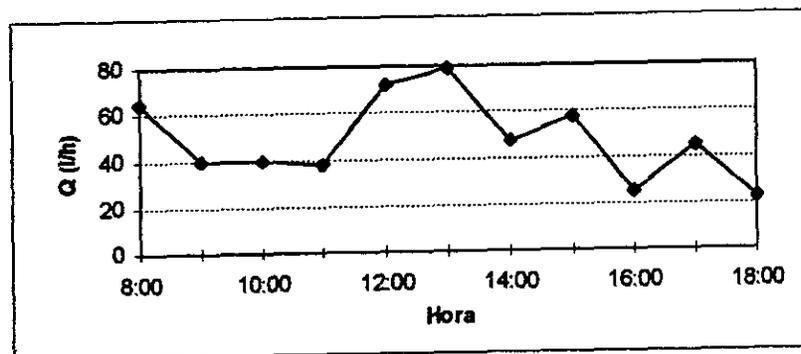
Con el fin de tener un marco de referencia más amplio, se efectuó un estudio para determinar las características de esta instalación. De esta manera se determinó que el influente tuvo una DQO<sub>i</sub> de 485 mg/l y SST de 80 mg/l. De igual manera se determinó un gasto promedio de 48.2 l/h (tabla 5.13 y figura 5.11).

Los resultados obtenidos en el seguimiento de la F.S. 17 (Caseta de vigilancia, Metro C.U), se muestran en la tabla 5.14.

Como se muestra en la tabla 5.14, el monitoreo de la F.S. 17 (Metro C.U.), se llevó a cabo entre la semana 20 y la semana 31 de funcionamiento, realizando el inóculo de los reactores en la semana 22.

**Tabla 5.13** Resultados de los aforos realizados a la F.S. 17 (Metro C.U.)

HORA	Q (l/h)
8:00	64.8
9:00	39.6
10:00	39.6
11:00	37.8
12:00	72
13:00	79.2
14:00	47
15:00	57.6
16:00	25
17:00	45
18:00	22.5
Promedio	45.2
Máximo	79.2
Mínimo	22.5



**Figura 5.11** Hidrograma F.S. 17 (Caseta Metro C.U.)

Tabla 5.14 Resultados obtenidos a partir del seguimiento a la F.S. 17 (Metro C.U.)

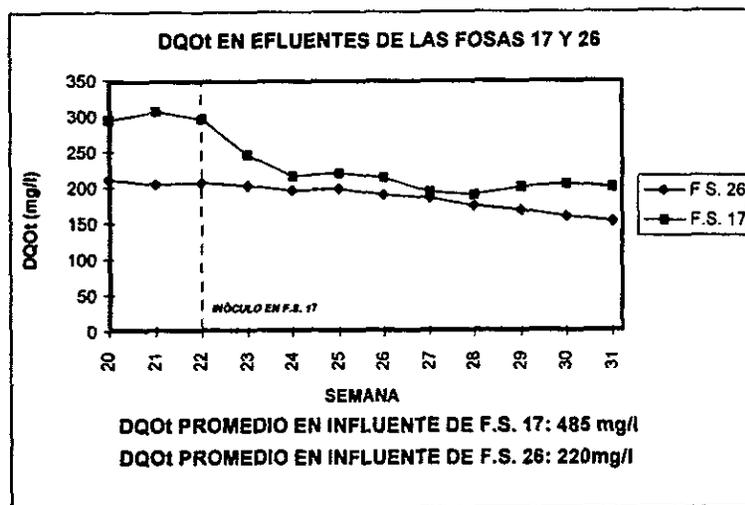
SEMANA DE FUNCIONAMIENTO	DQO <sub>t</sub> (mg/l)	DQO <sub>5</sub> (mg/l)	SST (mg/l)
20	294	219	44
21	306	225	17
22 (INÓCULO)	296	205	35
23	246	125	19
24	216	152	254
25	230	160	12
26	213	170	11
27	194	140	27
28	189	132	43
29	201	140	37
30	205	150	25
31	201	101	30

Con la finalidad de establecer una comparación en la que se observe el efecto del inóculo de los reactores en la F.S. 17 (Metro C.U.), en la **figura 5.12** se muestra la evolución de la DQO<sub>t</sub> en el efluente de esta instalación y en la F.S. 26 (Estadio Olímpico) durante las mismas semanas de funcionamiento, partiendo de que de las instalaciones monitoreadas, ésta es la que se asemeja más en su funcionamiento a la F.S. 17 en cuanto a su funcionamiento diario.

La semejanza entre el funcionamiento de la F.S. 17 y la F.S. 26, se determinó en base a que ambos sistemas reciben aguas generadas por instalaciones de uso y gastos similares, ya que en ambos casos, se reciben las descargas sanitarias de una caseta de vigilancia y de una caseta de servicios (jardinería en la F.S. 26 y transporte en la F.S. 17).

En la **figura 5.12** se observa que la F.S. 17 (Metro CU), muestra un progreso notable en la disminución de la  $DQO_t$  en el efluente, marcado por el aumento de la pendiente de la gráfica a partir de la semana 22 de funcionamiento, mejorando en dos semanas la eficiencia de remoción del 38% al 55%. Esto se atribuye al incremento de biomasa útil para el proceso inducido por el inóculo de los reactores en dicha instalación, lo que permitirá que el sistema alcance su eficiencia máxima y se estabilice en un tiempo menor.

En lo que se refiere a la gráfica obtenida para el caso de la F.S. 26 (Estadio Olímpico), se observa un lento progreso en la disminución de la  $DQO_t$  en el efluente. Se puede pensar que esta situación se debe a que dentro del periodo analizado, la F.S. 26 estaba ya en un proceso de estabilización. Sin embargo, de acuerdo con la concentración promedio de  $DQO_t$  en el influente (220 mg/l) y a las concentraciones de  $DQO_t$  en el efluente graficadas en la **Figura 5.12** es probable que la lentitud del progreso en la remoción de dicho parámetro en la F.S. 26, se deba a la insuficiencia de biomasa en los reactores. En este sentido, la F.S. 17 tenía una  $DQO_t$  promedio en el influente de 485 mg/l, con una salida del orden de 300 mg/l antes de la inoculación, después de la cual bajó a un nivel aproximado de 220 mg/l.



**Figura 5.12** Evolución de la  $DQO_t$  en el efluente de las F.S. 17 (Metro C.U.) con inóculo y F.S. 26 (Estadio Olímpico) de la semana 20 a la 31 de funcionamiento

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que el inóculo con lodos anaerobios en los sistemas de tratamiento instalados en el Campus, favorece el funcionamiento de los mismos debido al incremento de biomasa útil para el proceso, disminuyendo su tiempo de estabilización, es decir, dando resultados favorables en un periodo menor.

El muestreo y caracterización del agua residual (con excepción de los Coliformes Totales) se realizó de acuerdo con los Métodos Estándar (APHA, AWWA, WPCF, 1990).

Los Coliformes Totales fueron determinados por medio de filtración con membrana Millipore y conteo en placa.

#### **5.4.1 Evaluación del funcionamiento.**

En términos generales, el funcionamiento del sistema de tratamiento instalado, de acuerdo a los resultados obtenidos a partir del análisis de los efluentes de distintas instalaciones, mostró avances lentos, debido principalmente al tiempo requerido para la formación de biomasa que permita la estabilización de los reactores, el cual de acuerdo al experimento realizado en la F.S. 17 (Metro C.U.), puede ser abatido notoriamente por medio del inóculo de lodo anaerobio, permitiendo mas rápidamente la obtención de resultados satisfactorios.

Por otro lado, la problemática detectada en cuanto al aumento de la concentración de SST en los efluentes, se puede evitar siguiendo las recomendaciones del contratista, quien especifica la purga de 500 l de lodo cada seis meses por lo menos.

Adicionalmente, es recomendable (dadas las características de los sistemas), que se implemente una rutina de lavado de los filtros de arena (con agua o aire a presión), con el fin de evitar la saturación de los mismos.

## CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento seleccionado, mostró un comportamiento satisfactorio en la calidad del efluente con notorias ventajas en su operación, ya que su funcionamiento no requiere de energía eléctrica y su mantenimiento se limita a la limpiezas periódicas.

La biomasa requerida para la remoción de materia orgánica mostró un lento proceso de formación, lo que prolongó el periodo de estabilización de las plantas y por lo tanto la entrega de la calidad de agua solicitada en las bases.

Los resultados obtenidos a partir del experimento realizado en la F.S. 17 (Caseta de Vigilancia Metro Universidad), permiten asegurar que este periodo se reduce substancialmente por medio de un inóculo de lodo anaerobio equivalente al 15% del volumen total del reactor, previo al arranque del mismo.

El impulso que actualmete se está dando en materia de preservación de recursos naturales, no solo en el país, sino en todo el mundo, es una situación que aparte de ser benéfica para la sociedad por el bienestar que esto representa a futuro, abre un nuevo campo de desarrollo para profesionistas, entre los que el Ingeniero Civil por su formación académica, tiene la capacidad de intervenir ampliamente en cualquier obra de infraestructura destinada a la conservación del medio ambiente,.

El Ingeniero Civil especializado en Ingeniería Ambiental, junto con el desarrollo que esta área está teniendo y de acuerdo a la versatilidad que esta profesión ofrece, debiera incursionar en nuevos campos que permitan ampliar sus conocimientos en ramas que anteriormente no se consideraban como parte de su ejercicio cotidiano, como son la Química y la Bioquímica, creando nuevas perspectivas de desarrollo para actuales y futuras generaciones de Ingenieros Civiles.

## BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WPCF (1990) *STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*. American Public Health Association Editor. U.S.A.

Canter, Larry W. y Knox, Robert C. (1985) *SEPTIC TANK SYSTEM EFFECTS ON GROUND WATER QUALITY*. Lewis Publishers, INC. USA.

Comisión del Control Ecológico del Campus (1996) *NORMATIVIDAD EN MATERIA DE CONTROL ECOLÓGICO EN EL CAMPUS*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (1994) *AGUA 2000. ESTRATEGIA PARA LA CIUDAD DE MÉXICO*. Departamento del Distrito Federal. México.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (1994) *ALCANTARILLADO 2000. ESTRATEGIA PARA LA CIUDAD DE MÉXICO*. Departamento del Distrito Federal. México.

Metcalf & Eddy (1985) *INGENIERÍA SANITARIA, REDES DE ALCANTARILLADO Y BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES*. Editorial Labor. España.

Metcalf & Eddy (1991) *WASTEWATER ENGINEERING. TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE*. Editorial Mc. Graw-Hill. Singapore.

National Research Council, Academia de la Investigación Científica, A.C., Academia Nacional de Ingeniería, A.C. (1995) *EL SUMINISTRO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO*. Washington D.C., U.S.A.

Noyola A. y Monroy O. (1994) *EXPERIENCIAS Y PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO EN MÉXICO*. Tratamiento Anaerobio, memoria del III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. p331.

Noyola A. Sámano J., y López J. (1995) *APOYO TÉCNICO PARA LA SELECCIÓN, SUPERVISIÓN Y RECEPCIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO; PROGRAMA UNAM-BID*. Instituto de Ingeniería UNAM, proyecto 5307. México.

Noyola A., Sámano J., Saucedo A., y López J. (1996) *PLAN BÁSICO DE SANEAMIENTO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO*. Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Observatorio Meteorológico del Campus Universitario (1996) *REGISTRO DE 24 HORAS Y DE OBSERVACIONES HECHAS A LAS 7, 12 Y 18 HORAS DE ENERO A DICIEMBRE DE 1996*. Facultad de Filosofía y Letras UNAM. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (1990) *PROYECTO TIPO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COMUNIDADES RURALES Y ZONAS MARGINADAS*. Subsecretaría de Ecología. México.

**ANEXO FOTOGRÁFICO**



**Figura A.1** Terreno proporcionado para la construcción de las instalaciones de tratamiento de la F.S. 23 (Gimnasio)



**Figura A.2** Fosa séptica vertical preexistente en F.S.25 (UDUAL)

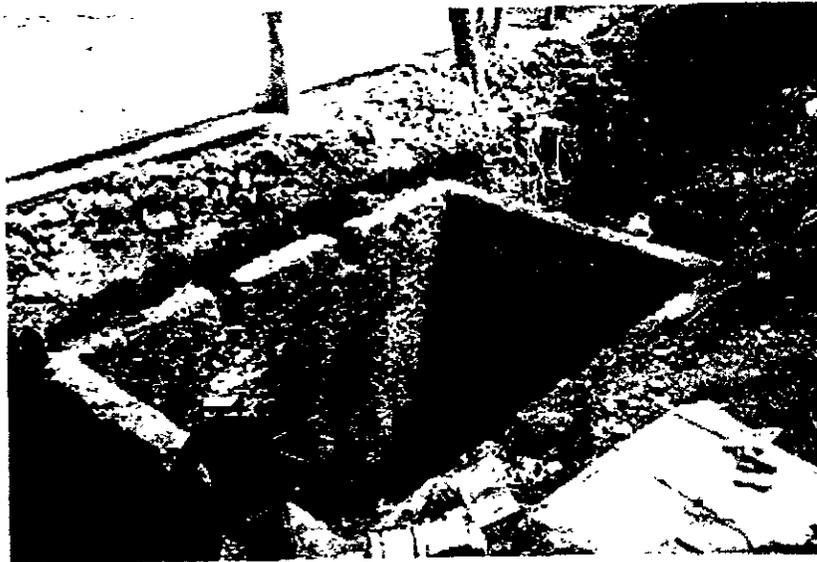


**Figura A.3** Trazo y comienzo de la excavación en material tipo I (suelto) en F.S.15 (Posgrado de Odontología, ala norte)

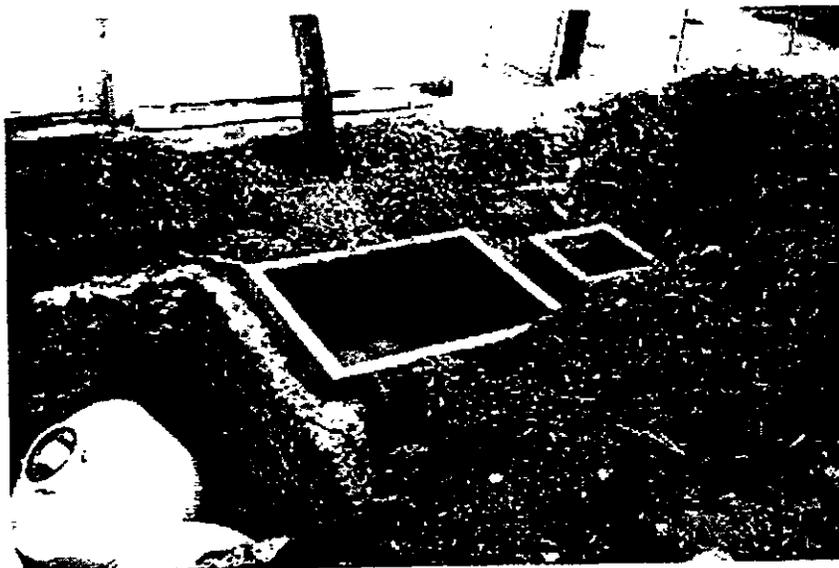
**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



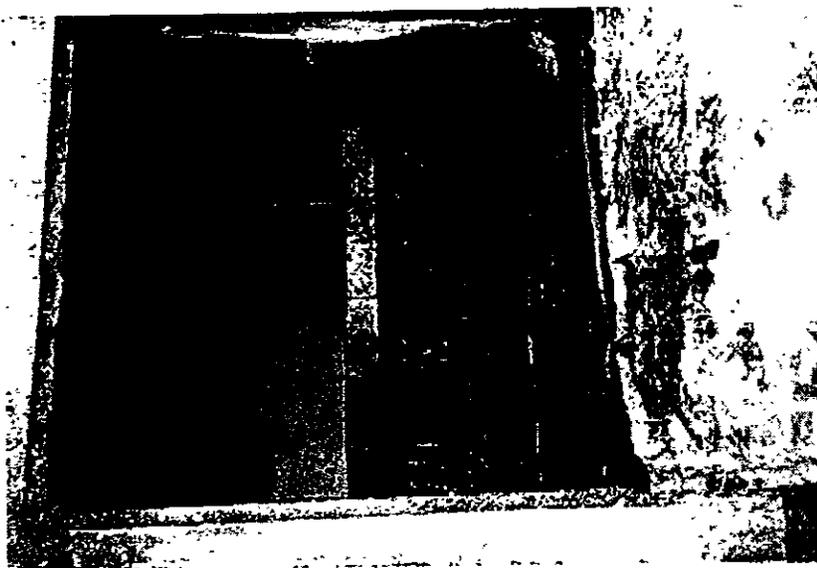
**Figura A.4** Excavación con pistolas neumáticas en material tipo III (rocoso) en F.S. 23 (Gimnasio)



**Figura A.5** Cajón para alojamiento de reactores anaerobios en F.S. 23 (Gimnasio)



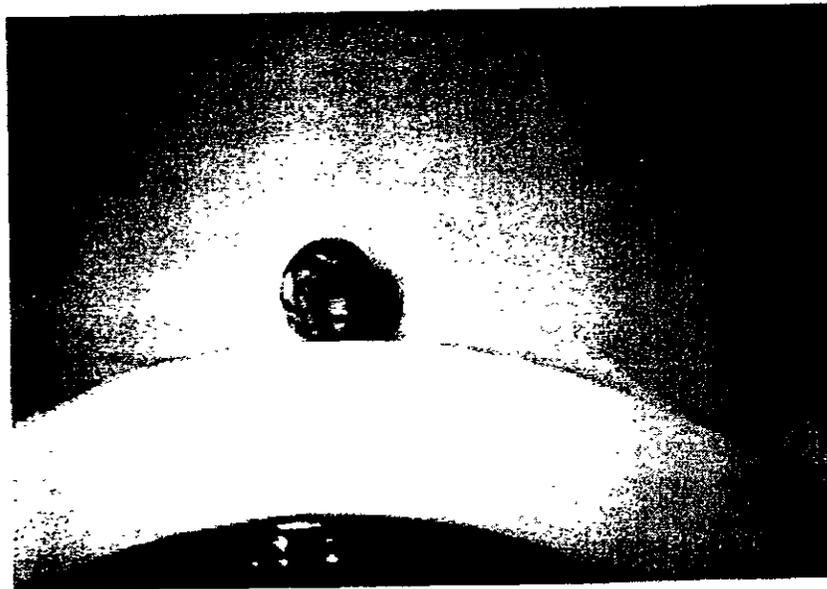
**Figura A.6** Fosa séptica y registro de pretratamiento construidos en la F.S. 23 (Gimnasio)



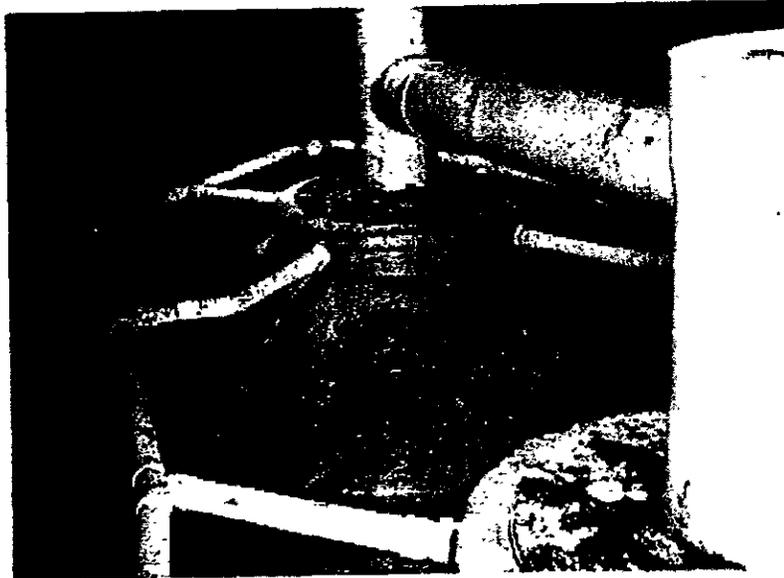
**Figura A.7** Pretratamiento



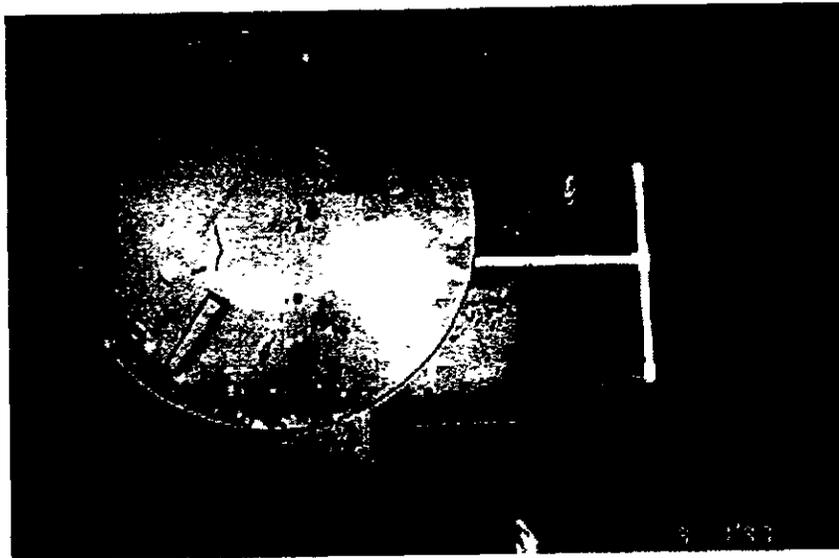
**Figura A.8** Reactores anaerobios antes de ser instalados en la F.S. 23 (Gimnasio)



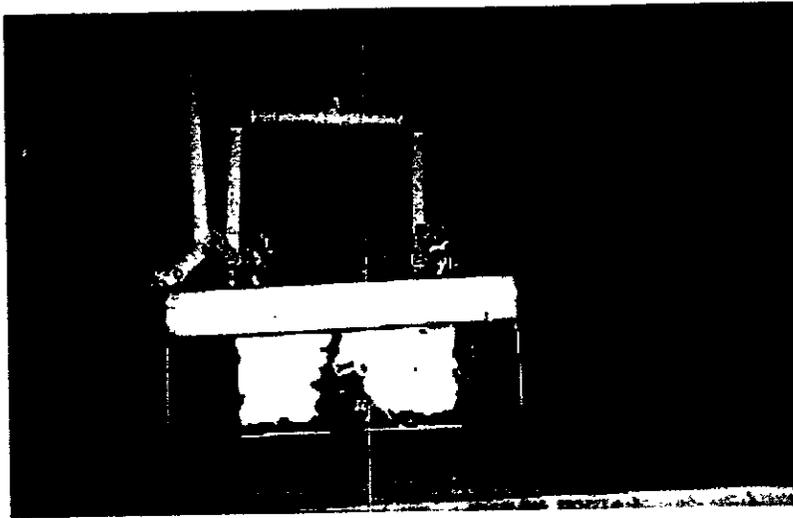
**Figura A.9** Detalle del empaque aleatorio utilizado en los reactores anaerobios



**Figura A.10** Instalación de tubería de PVC en el influente y en el efluente de los reactores



**Figura A.11** Vista superior de la cámara de cloración utilizada en instalaciones con capacidad de tratamiento de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d



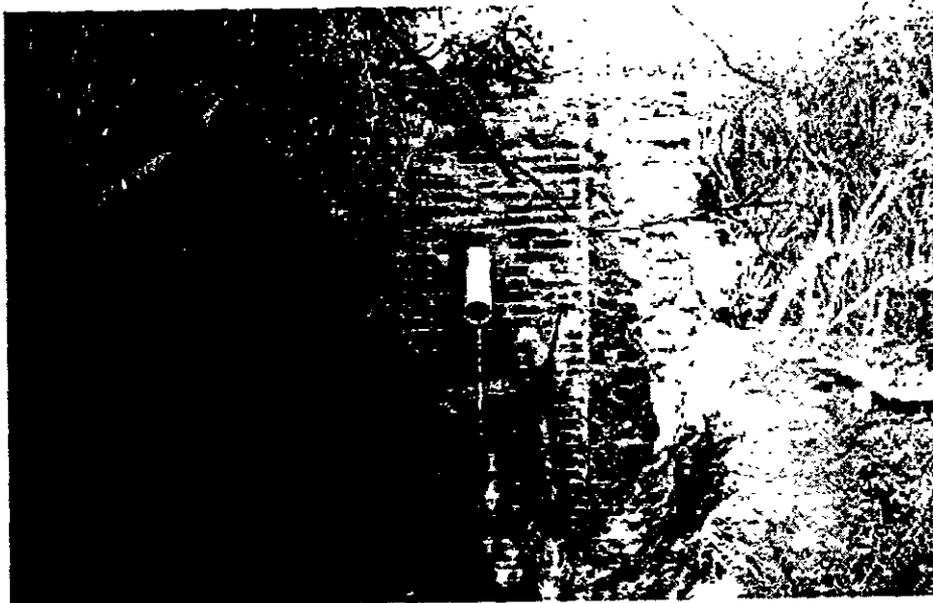
**Figura A.12** Vista superior del registro para filtrado del efluente proveniente de la cámara de cloración en instalaciones con capacidad de tratamiento de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d



**Figura A.13** Obra concluida en F.S. 08 (Vivero alto, Cabaña 1) con capacidad de tratamiento de 5 m<sup>3</sup>/d



**Figura A.14** Obra concluida en F.S. 23 (Gimnasio) con capacidad de tratamiento de 15 m<sup>3</sup>/d



**Figura A.15** Efluente de agua tratada en F.S. 05 (Dirección General de Teatro y Danza)