



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
A NIVEL DE POSTGRADO**

**ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS  
PROVENIENTES DE FOSAS SÉPTICAS**

**ING. CARLOS RENÉ GALINDO VALERIANO**

**Guatemala, junio del 2010**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS  
PROVENIENTES DE FOSAS SÉPTICAS**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS – ERIS –

POR

**ING. CARLOS RENÉ GALINDO VALERIANO**

ASESORADO POR:

**Dr. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS**

COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO (MAGÍSTER SCIENTIFICAE)  
EN INGENIERÍA SANITARIA**

**Guatemala, junio del 2010**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Félix Aguilar Carrera

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**



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

**ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS  
PROVENIENTES DE FOSAS SÉPTICAS**

Tema que me fuera aprobado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, el 12 de agosto de 2009.

---

**ING. CARLOS RENÉ GALINDO VALERIANO**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala, Junio de 2010

FACULTAD DE INGENIERÍA

Señores  
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi calidad de Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

**Estudio, caracterización y tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas**

Presentado por el estudiante de la maestría mencionada,

**Ingeniero Carlos René Galindo Valeriano**

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes.

Atentamente,

Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

**“ID y ENSEÑAD A TODOS”**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos, M.Sc. Ing. Félix Aguilar Carrera, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada en Letras Marta Lidia Marroquín Reyes, Colegiada No. 10329 al trabajo del estudiante Ingeniero Carlos René Galindo Valeriano, titulado *“ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE FOSAS SÉPTICAS”*. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los veintitrés días del mes de junio de 2010.

**IMPRIMASE**

**M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis**

DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y

Recursos Hidráulicos

-ERIS-

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

## **DEDICATORIA**

A mi hermana Gina, gracias por sacrificar gran parte de tu nómina mensual, para poder sustentarme aquí en Guatemala. En la vida de cada ser humano, Dios pone ángeles a su alrededor para guiarlo y apoyarlo en sus sueños y realizaciones. Tú eres ese ángel en mi vida, te estaré eternamente agradecido por haberme apoyado en mis estudios de postgrado. Gracias hermanita, te quiero con todo mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- DIOS** Por bendecirme tanto y permitir que todas las circunstancias se fueran dando para hacer posible el sueño de estudiar la maestría en un país extranjero.
- MIS PADRES** José René Galindo y Lizeth de Galindo por ser un ejemplo de vida y motivarme a superarme siempre, gracias por ese inmenso apoyo; este triunfo es de ustedes.
- MI ASESOR** Dr. Ing. Adán Pocasangre por la asesoría brindada y en especial por su amistad sincera y su ayuda desinteresada.
- MIS HERMANAS** Gina y María Eugenia Galindo por ser destacadas profesionales e inspirarme a continuar estudios de postgrado.
- MI NOVIA** Celina Pinto, por ser tan comprensiva y apoyarme en mi sueño de estudiar la maestría. Te amaré por siempre mi vida.
- PERSONAL DEL LABORATORIO** En especial al M.Sc. Ing. Zenón Much por sus consejos, Moisés Dubón, padre e hijo, por su fina colaboración.
- MIS AMIGOS** De las diferentes maestrías que se imparten en ERIS, por hacer mi estadía más grata y placentera, ustedes serán mi mejor recuerdo de Guate.
- GRUPO MAPRECO** En especial al Ing. Álvaro Zepeda por apoyarme económica y técnicamente en la realización del presente estudio especial.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IV
TABLAS .....	V
RESUMEN .....	VI
ASPECTOS GENERALES .....	VII
INTRODUCCIÓN .....	VII
OBJETIVOS .....	VIII
HIPÓTESIS .....	VIII
ANTECEDENTES .....	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XI
JUSTIFICACIÓN .....	XI
1. ASPECTOS TEÓRICOS .....	1
1.1. Lodos provenientes de fosas sépticas .....	1
1.1.1. Características de los lodos de fosa séptica .....	1
1.1.2. Métodos de tratamiento y evacuación del lodo de fosas sépticas .....	3
1.1.3. Tratamiento de lodos en una planta de tratamiento municipal .....	4
1.1.4. Tratamiento de lodos de fosa séptica como aguas residuales .....	5
1.1.5. Tratamiento de lodos de fosa séptica como lodos .....	6
1.1.6. Tratamiento de lodos en suelo .....	8
1.1.7. Tratamiento acuático de lodos de fosa séptica .....	11
1.1.8. Métodos de deshidratación de lodo .....	11
2. UNIVERSO DE TRABAJO .....	13
2.1. Descripción general de la empresa recolectora de lodos sépticos ..	13
2.2. Cantidad de lodos provenientes de fosas sépticas .....	14
2.3. Ubicación del sitio de disposición final de lodos sépticos .....	16
2.4. Descripción general de la PTAR "Ingeniero Arturo Pazos Sosa" .....	17

3.	METODOLOGÍA.....	18
3.1.	Selección de los parámetros de control .....	18
3.2.	Tipo de muestreo .....	20
3.3.	Análisis estadístico para determinar el número de muestras.....	21
3.4.	Puntos de muestreo .....	22
3.5.	Toma de muestras .....	23
4.	RESULTADOS .....	25
4.1.	Resultados de los análisis de laboratorio.....	25
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	33
5.1.	Interpretación de los parámetros seleccionados.....	33
5.1.1.	Temperatura .....	33
5.1.2.	Potencial de hidrógeno .....	34
5.1.3.	Nitrógeno y fósforo total .....	34
5.1.4.	Sólidos totales, fijos y volátiles.....	36
5.1.5.	Contenido de humedad.....	37
5.1.6.	Coliformes totales y fecales .....	37
5.1.7.	Macronutrientes .....	38
5.1.8.	Metales pesados.....	38
5.2.	Comparación de resultados con la normativa nacional.....	39
5.2.1.	Vertidos a cuerpos receptores .....	39
6.	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS SÉPTICOS .....	41
6.1.	Sistema uno: lechos de secado cultivados .....	41
6.2.	Sistema dos: lagunas de secado de lodos.....	43
6.3.	Selección de alternativa .....	46
6.4.	Descripción de la alternativa seleccionada .....	50
6.5.	Diseño y descripción de las unidades de tratamiento .....	50
6.5.1.	Canal de rejas.....	50
6.5.2.	Digestor anaeróbico de lodos .....	55

6.5.2.1. Forma y dimensiones del digestor anaeróbico .....	59
6.5.2.2. Volumen de gasómetro .....	62
6.5.3. Patio de secado de lodos.....	63
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES .....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	68
ANEXOS .....	70

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Tratamiento de lodos empleando zanjón de oxidación. ....	5
Figura 2 Tratamiento de lodos sépticos empleando lodos activados. ....	6
Figura 3 Extracción de agua residual en pozo de absorción. ....	13
Figura 4 Ubicación general de la planta de tratamiento de lodos sépticos. ....	16
Figura 5 Sistemas de tratamiento de la PTAR “Ingeniero Arturo Pazos” ....	17
Figura 6 Curvas de niveles de confianza .....	21
Figura 7 Toma de muestras en fosa séptica en Villanueva, Guatemala. ....	23
Figura 8 Variabilidad de pH en 12 muestras de lodos de fosas sépticas .....	28
Figura 9 Variabilidad de nitrógeno y fósforo total en lodos sépticos. ....	29
Figura 10 Grado de digestión de los lodos sépticos muestreados .....	30
Figura 11 Variabilidad de macronutrientes en los puntos de muestreo .....	31
Figura 12 Variabilidad de metales pesados en los puntos de muestreo .....	32
Figura 13 Lechos de secados construidos en Bangkok, Tailandia. ....	42
Figura 14 Co tratamiento de lodos fecales en Alcorta, Argentina. ....	45
Figura 15 Esquema general del sistema de tratamiento propuesto .....	52
Figura 16 Descarga del líquido proveniente de fosas sépticas. ....	53
Figura 17 Curva de digestión de lodos a diferentes temperaturas. ....	56
Figura 18 Esquema geométrico del tanque digestor anaeróbico .....	60

## TABLAS

Tabla I Características físicas y químicas de los lodos sépticos .....	2
Tabla II Concentración de metales pesados en los lodos sépticos .....	2
Tabla III Características y nutrientes en los lodos de agua residual doméstica .....	3
Tabla IV Técnicas de aplicación en terrenos superficiales para lodos sépticos .....	9
Tabla V Técnicas de aplicación subsuperficiales para lodos sépticos .....	10
Tabla VI Volumen de lodo aproximado transportado en el año 2009.....	14
Tabla VII Volumen de lodo aproximado transportado en el año 2008.....	15
Tabla VIII Puntos de muestreo de los lodos sépticos.....	22
Tabla IX Resultados de laboratorio de lodos sépticos domésticos.....	25
Tabla X Parámetros estadísticos de lodos sépticos domésticos.....	26
Tabla XI Parámetros estadísticos de lodos sépticos.....	35
Tabla XII Parámetros y límites máximos permisibles para lodos .....	40
Tabla XIII Condiciones operativas óptimas de los lechos de secado.....	42
Tabla XIV Matriz de evaluación de alternativas.....	49
Tabla XV Hoja de cálculo de diseño del sistema de pre tratamiento.....	55
Tabla XVI Parámetros de diseño para un digestor anaeróbico .....	57
Tabla XVII Relaciones de dimensión del tanque digestor anaeróbico.....	61
Tabla XVIII Ecuaciones de los volúmenes del digestor anaeróbico .....	61
Tabla XIX Ecuaciones de los volúmenes del digestor anaeróbico .....	62
Tabla XX Ecuaciones de los volúmenes del digestor anaeróbico .....	62

## RESUMEN

Se realizó la caracterización física, química y microbiológica de los lodos provenientes de fosas sépticas domésticas. Para tal fin, se recolectaron 12 muestras puntuales, en la ciudad de Guatemala y ciudades aledañas; se analizó in situ, el parámetro de potencial de hidrógeno (pH). En el laboratorio se determinaron los siguientes parámetros: nitrógeno total, fósforo total, sólidos totales (ST), fijos y volátiles, contenido de humedad, coliformes totales y fecales, macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), metales pesados (arsénico, cadmio, cromo total, mercurio y plomo). Se concluyó que existen condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, relacionados con la temperatura y pH, y por determinarse concentraciones menores de metales pesados. Se encontró también que los valores encontrados de la capacidad fertilizante de los lodos provenientes de fosas séptica son relativamente bajos con una relación promedio NPK (nitrógeno, fósforo y potasio, porcentaje en peso) de 2,39: 0,60: 0,22.

Con el valor medio encontrado (62,94% de ST) se concluyó que los lodos no se hallaban totalmente digeridos y se clasificó como lodo crudo al encontrarse dentro del intervalo de 60-80% de ST. Este parámetro se constituyó en el principal instrumento de decisión para establecer un sistema de tratamiento independiente de lodos sépticos, y proponer un digestor anaeróbico de lodos para poder estabilizarlos y después tratar el efluente del digestor. Los métodos evaluados para el tratamiento y la disposición final del efluente séptico, fueron: 1) Lechos de secado cultivados (humedales artificiales de flujo vertical), 2) Lagunas de secado de lodos. El costo global de construcción para el primer sistema, es de Q 461920,00; mientras que para el segundo asciende a Q 74603,00. Las unidades de tratamiento finalmente propuestas fueron: canal de rejillas, tanque digestor anaeróbico de lodos, patio de secado de lodos, y dos lagunas facultativas funcionando en paralelo que reciben la fracción líquida del tanque digestor y del patio de secado de lodos.

## **ASPECTOS GENERALES**

### **INTRODUCCIÓN**

En zonas urbanas de Asia, África y América Latina la situación de disposición de excretas es dramática: mundialmente, miles de toneladas diarias de lodos fecales de sistemas de saneamiento en sitio (SSS), tales como inodoros públicos o privados y tanques sépticos no conectados a alcantarillados, son descargados sin tratamiento y de manera incontrolada en callejones, zanjas de desagüe, campos abiertos, fuentes de aguas naturales, estuarios o en el mar.

Los SSS son la forma predominante de sistemas de disposición de las excretas de 65 – 100% de los habitantes urbanos en África y Asia que disponen de sistemas y servicios de saneamiento adecuados. Estos incluyen inodoros públicos o privados, excusados de agua, "aqua privies" y tanques sépticos. En América Latina, más de 50% de las casas en casi todas las ciudades grandes están conectadas a un sistema de alcantarillados. En ciudades medianas y pequeñas, sin embargo, la mayoría de las casas está abastecida con sistemas de saneamiento en sitio, particularmente tanques sépticos. Los SSS son también corrientes en áreas peri-urbanas de países con ingresos altos. Por ejemplo, 25% de las casas en EE.UU. están abastecidas con tanques sépticos.

En la mayoría de los casos, los lodos fecales sin tratar son descargados o usados en la agricultura, lo que conduce a enormes riesgos para la salud, a una degradación estática y olfativa de los asentamientos y a una contaminación de las aguas. En muchas ciudades, los vertederos y campos abiertos de defecación se encuentran cerca de zonas formales o informales de ingresos bajos, donde presentan riesgo para la salud de este segmento de la población en continuo aumento.

En virtud de evitar la contaminación ambiental, en suelo, aire y agua, se llevó a cabo el presente estudio, consistente en proponer unidades de tratamiento de los lodos extraídos de fosa sépticas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Proponer una solución viable desde el punto de vista técnico y económico a la disposición final de lodos provenientes de fosas sépticas.

### **Objetivos específicos**

Caracterizar en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos los lodos provenientes de fosas sépticas, determinando así su grado de digestión y su capacidad nutritiva al suelo.

Estudiar las posibles alternativas de tratamiento al lodo primario, con base en los resultados de la caracterización realizada y el volumen del lodo por tratar.

Proponer un diseño hidráulico - sanitario definitivo de las unidades de tratamiento requeridas para la disposición final de lodos provenientes de fosas sépticas.

## **HIPÓTESIS**

Los datos obtenidos producto de la caracterización física, química y microbiológica de los lodos provenientes de fosas sépticas darán como resultado una propuesta de tratamiento biológico para la disposición final de los lodos descritos.

## ANTECEDENTES

En el Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (CIERIS) no se registran investigaciones sobre lodos provenientes de fosas sépticas. No obstante, sí se han realizado diversas investigaciones sobre el tratamiento de lodos procedentes de unidades secundarias de tratamiento de aguas residuales. Entre las que se destacan, los estudios especiales siguientes:

Ingeniero Montoya Palencia, Miguel Omar, 1981: Desecado de lodos después de la digestión anaerobia empleando patios de grava y de arena pómez como material filtrante. En este estudio se llegó a concluir que los patios construidos con lechos filtrantes de arena pómez y grava son un método económico y ofrecen un desempeño eficiente. Además, estableció que con cargas de 24 a 32 cm de espesor de lodos, y con un tiempo de secado de seis días en la época seca, se alcanza una reducción del 75-78% del volumen de los lodos.

Ingeniero Calvo Gutiérrez, Jorge Alberto, 1997: Propuesta para el tratamiento y utilización de las aguas residuales provenientes del rastro de porcinos del municipio de Santa Catarina Pinula de Guatemala. En esta investigación se llegó a la conclusión de proponer un sistema de tratamiento anaeróbico de aguas residuales procedentes del rastro, según la caracterización físico, química y microbiológica realizada en dos puntos de descargas del afluente semilíquido. El sistema de tratamiento propuesto consistió en las siguientes unidades: canal con criba, pila de hidrólisis, tanque de mezcla estiércol – agua, caja con criba separadora de sólidos, tanque de biodigestión convencional tipo cúpula fija, caja de sello de agua, gasómetro, filtro removedor de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), un tanque de almacenamiento del efluente y un patio de secado de lodos.

Ingeniero Vega Aguilar, Teodoro Alberto, 2006: Evaluación de eficiencia de tanques plásticos de resina de polietileno, modificados para el tratamiento de

aguas residuales domésticas e implementación de tratamiento de lodos. En este estudio, de los análisis efectuados a los lodos y de su comparación con las normas existentes en el área de Centroamérica, se concluyó que son aptos para ser dispuestos en la aplicación de suelos ya sea como acondicionador, abono o compost; en este sentido, la hipótesis sí llegó a verificarse. En adición, si bien el sistema no posee un digestor de lodos, las pruebas de laboratorio realizadas determinaron que los lodos extraídos tanto del sedimentador secundario como del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), sí se encuentran digeridos. Por tanto, el sistema cuenta únicamente con un patio de secado de lodos, diseñado con un área superficial de 3,40 m<sup>2</sup> con material filtrante consistente en una capa de 10 cm de espesor de piedrín/grava, de ½" y sobre ésta, un estrato de 15 cm de arena pómez.

Ingeniera Ortiz Álvarez, Pamela/Ingeniero Palma Fiallos, Mario Fernando (2007): Análisis comparativo de los reactores anaeróbicos de flujo ascendente de la planta piloto "Ing. Arturo Pazos. Parte del estudio consistió en determinar el porcentaje de digestión (sólidos volátiles, % de ST) de los lodos, tanto del reactor de concreto como el de polietileno de alta densidad; dichos valores se encontraron en 51.70% de ST y 57.87% respectivamente. Concluyeron que los lodos acumulados en ambas unidades no se encuentran completamente digeridos.

En el ámbito internacional, en el año 2000, se realizó en Mendoza, Argentina el 11º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Una de las conferencias dictadas se denominó: "Cuando los tanques sépticos están llenos – El desafío del manejo y tratamiento de lodos fecales". En el artículo científico desarrollado se determinó que la recolección y el transporte de lodos provenientes de fosas sépticas hacia lugares apropiados de tratamiento son, a menudo, extremadamente perjudicados por el tráfico urbano. De esto resulta una disposición incontrolada de los lodos, una polución concomitante y riesgos para la salud. El manejo de lodos fecales es distinto del saneamiento conectado a alcantarillados, donde las aguas residuales corren de manera natural a puntos

designados de concentración. Se explicaron las variadas opciones de tratamiento de bajo costo de lodos fecales que han sido investigadas en estos últimos años. Ahora existen guías, por lo menos tentativas, de diseño y operación de opciones seleccionadas. Estas incluyen la separación sólidos/líquidos y el espesamiento, la deshidratación/estabilización en lechos de secado con o sin plantas, y el tratamiento en lagunas (separado o bien combinado con las aguas residuales municipales).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente muchas empresas dedicadas a extraer lodos provenientes de fosas sépticas no disponen de un sistema de tratamiento para dicho lodo y frecuentemente utilizan el sistema de alcantarillado o la disposición final en botaderos a cielo abierto. Con este estudio de investigación se espera presentar una solución sanitariamente segura a la disposición final del lodo proveniente de ese sistema primario de tratamiento.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la región latinoamericana, solo se trata el 14% de las aguas residuales (OMS, 2007). Esta es una de las razones por las que se crearon los objetivos del milenio (ODM), de los cuales, el número 7 establece garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Y precisamente, uno de los fines de esta investigación, consiste en contribuir a disminuir la inadecuada disposición final de lodos provenientes de fosa séptica, que trae consigo diversos problemas ambientales, proliferación de enfermedades de origen viral y bacteriano que afectan significativamente la salud de las personas y ocasionan un problema que el ingeniero sanitaria está obligado a resolver en forma eficaz y eficiente.

# 1. ASPECTOS TEÓRICOS

## 1.1. Lodos provenientes de fosas sépticas

Una fosa o tanque séptico se usa para la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales y de otras instalaciones sin red de alcantarillado. Es un tanque combinado de sedimentación y desnatación, como digestor anaerobio sin mezcla ni calentamiento y como tanque de almacenamiento de lodos.

El lodo de los tanques sépticos (o fosas) es el material semilíquido que se extrae de ellos, el cual se ha depositado en su fondo durante años; además, está formado por el líquido y una capa superficial de espuma. (Crites & Tchobanoglous, 2000). Ese lodo proveniente de este sistema de tratamiento primario se caracteriza porque tiene cantidades significativas de arena, aceite y grasa, sólidos y materia orgánica. Estas características podrían variar con la frecuencia de bombeo, si su origen es residencial o comercial y con el uso de trituradores de alimentos. Para diseñar adecuadamente las instalaciones para el tratamiento y evacuación del líquido de fosas sépticas es necesario disponer de información sobre los volúmenes y características del mismo. (Metcalf & Eddy, 1996).

### 1.1.1. Características de los lodos de fosa séptica

Las características del líquido de fosas sépticas varían en función de los usos del agua, de si se emplean trituradores de basuras en las cocinas, y de la frecuencia de bombeo. Debido a la naturaleza cambiante del agua que entra en el tanque, las características del líquido presentan gran variabilidad.

Dentro de las características importantes de los lodos de tanques sépticos se incluyen las cantidades esperadas, el contenido químico y de nutrientes y el contenido de metales pesados. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

En las Tabla I y Tabla II se detallan las características físico – químicas de los lodos provenientes de fosa séptica y la concentración de metales pesados presentes en los mismos.

**Tabla I** Características físicas y químicas de los lodos sépticos

<b>Componente</b>	<b>Media U.S. (mg/l)</b>	<b>Media EPA (mg/l)</b>	<b>Valor diseño sugerido por EPA (mg/l)</b>
DBO	6480	5000	7000
DQO	31900	42850	15000
Sólidos totales	34106	38800	40000
STV	23100	25260	25000
SST	12862	13000	15000
SSV	19027	8720	10000
NTK	588	677	700
NH3 - N	97	157	150
P total	210	253	250
Alcalinidad	970		1000
Grasa	5600	9090	8000
pH	1,5 - 12,6	6,9	6
LAS	110 - 200	157	150

Tomado de U.S. EPA (1984)

**Tabla II** Concentración de metales pesados en los lodos sépticos

<b>Componente</b>	<b>Media U.S. (mg/l)</b>	<b>Media EPA (mg/l)</b>	<b>Valor diseño sugerido por EPA (mg/l)</b>
Aluminio	48,00	48,00	50,00
Arsénico	0,16	0,16	0,20
Cadmio	0,27	0,71	0,70
Cromo	0,92	1,10	1,00
Cobre	8,27	6,40	8,00
Hierro	191,00	200,00	200,00
Mercurio	0,23	0,28	0,25
Manganeso	3,97	5,00	5,00
Níquel	0,75	0,90	1,00
Plomo	5,20	8,40	10,00

Componente	Media U.S.	Media EPA	Valor diseño sugerido
Selenio	0,08	0,10	0,10
Zinc	27.4	49,00	40,00

Tomado de U.S. EPA (1984)

Tal como se muestran en dichas tablas, estos lodos contienen concentraciones altas de sólidos, grasa, DBO y nutrientes (ver Tabla III), así como metales, dependiendo de las sustancias químicas de uso doméstico y del lixiviado de los materiales de las instalaciones domésticas.

**Tabla III** Características y nutrientes en los lodos de agua residual doméstica

Características	Lodo crudo		Lodo digerido		Lodo activado
	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo
Sólidos secos totales (ST),%	2,0-8,0	5,0	6,0-12,0	10,0	0,83-1,16
Sólidos volátiles (% de ST)	60-80	65	30-60	40	59-88
Proteínas (% de ST)	20-30	25	15-20	18	32-41
Nitrógeno (N, % de ST)	1,5-4	2,5	1,6-6,0	3,0	2,4-5,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % de ST)	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11,0
Potasio (K <sub>2</sub> O, % de ST)	0-1	0,4	0-3,0	1,0	0,5-0,7
pH	5,0-8,0	6,0	6,5-7,5	7,0	6,5-8,0
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> , mg/l)	500-1 500	600	2 500-3 500	3 000	580-1 100

Metcalf & Eddy (1996).

### 1.1.2. Métodos de tratamiento y evacuación del lodo de fosas sépticas

Un tratamiento apropiado de los lodos provenientes de fosa séptica – o bien en combinación con aguas residuales o separadas – se practica sólo en pocos países (por ejemplo Argentina, Ghana, Benín, Botswana, Sudáfrica, Tailandia, Indonesia). Las opciones de tratamiento en uso incluyen unidades de sedimentación/espesamiento operadas con el proceso de carga (*batch*); lagunas de estabilización sin aeración; compostaje combinado con desechos orgánicos

municipales; aeración extendida, seguida de un tratamiento final. En EE.UU., los lodos de tanques sépticos son co-tratados en plantas de tratamiento de aguas residuales. En algunos estados, especialmente en el noreste, el sistema de lagunas es utilizado para el tratamiento separado de lodos de tanques sépticos. El sistema típico consiste en una laguna de sedimentación (anaeróbica), seguida de una laguna secundaria de infiltración/percolación. (Strauss, 2000)

En la presente investigación se presentan cinco alternativas para el tratamiento de lodos de fosas sépticas:

- Tratamiento en una planta de tratamiento municipal
- Tratamiento como fuente de aguas residuales
- Tratamiento como lodos
- Tratamiento en suelo
- Tratamiento acuático

### **1.1.3. Tratamiento de lodos en una planta de tratamiento municipal**

Si se procesará el lodo de los tanques sépticos junto con las aguas residuales, será necesario construir una estación para recibirlo. Ésta estará conformada por un área de descarga (con pendiente para permitir que el lodo fluya por gravedad desde los camiones de transporte), un tanque de almacenamiento de lodos y una o más bombas trituradoras. El tanque de almacenamiento se usa para acumular el lodo, de manera que éste pueda descargarse hacia la planta de tratamiento; deberá cubrirse con el objetivo de evitar malos olores. Se prefiere descargar el lodo en las etapas iniciales del proceso con el fin de remover las arenas y filtrar. Si el lodo de los tanques sépticos está muy concentrado, puede diluirse con aguas residuales procesadas.

Si no existen limitaciones de capacidad, el tratamiento en conjunto y la disposición de los lodos de fosas sépticas es uno de los métodos de manejo de

lodos más efectivo en cuanto a costos y más adecuados en relación con el ambiente.

#### 1.1.4. Tratamiento de lodos de fosa séptica como aguas residuales

Dado que el lodo de las fosas sépticas contiene en general 98.5% de agua, con frecuencia se le trata como una fuente de aguas residuales. Los sólidos suspendidos más pesados se retiran de la corriente de desechos para permitir el tratamiento biológico más efectivo de los compuestos orgánicos que permanecen en ella. En las Figura 1 y Figura 2 se presentan dos diagramas de flujo para el tratamiento de lodo de tanques sépticos como aguas residuales.

En el diagrama de flujo que aparece en la Figura 1, el lodo de las fosas sépticas se filtra para remover los sólidos de gran tamaño y trapos, tratándose biológicamente en una serie de lagunas aireadas. Luego, el efluente se procesa con tratamiento en suelo. Una alternativa para el tratamiento con lagunas sería la aplicación directa en el terreno, bien sea por el método de tasa bajar (irrigación) o por infiltración rápida.

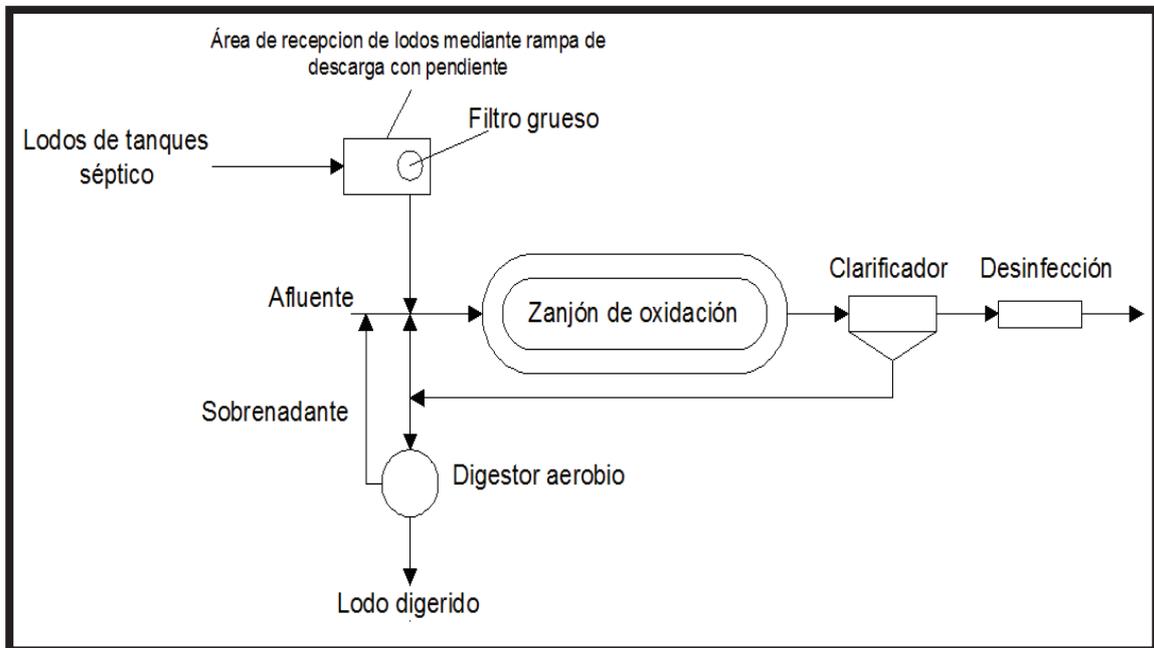
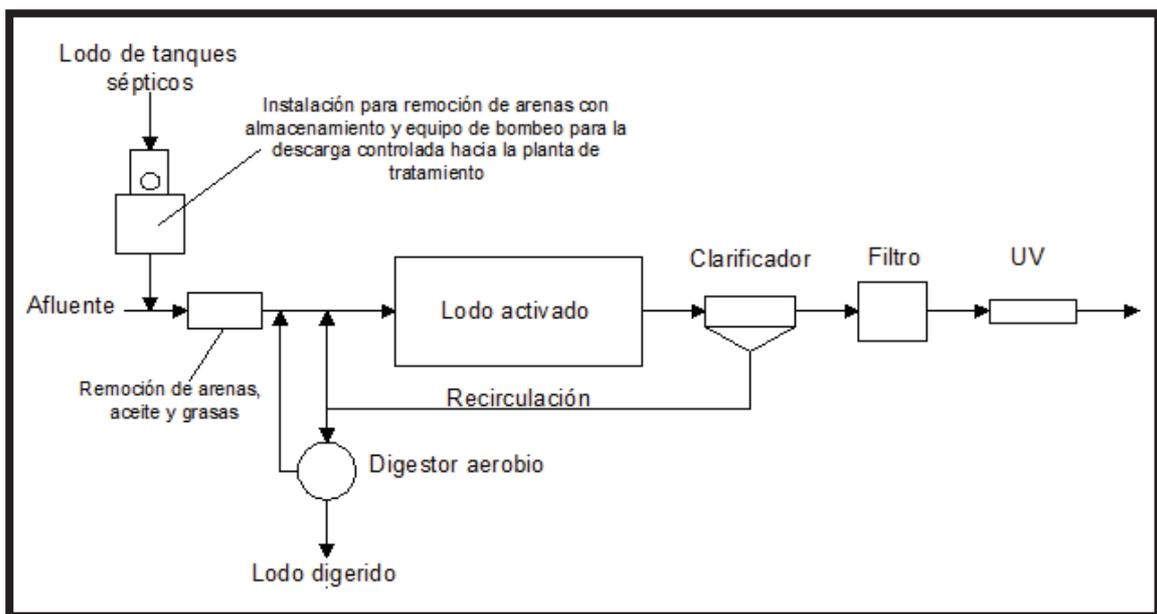


Figura 1 Tratamiento de lodos empleando zanjón de oxidación.

En el diagrama de flujo de la Figura 2, el lodo de fosas (o tanques) sépticas se procesa con un enfoque convencional que incluye sedimentación primaria, tratamiento biológico, filtración del efluente y desinfección. Se puede lograr el tratamiento biológico con un zanjón de oxidación, un sistema convencional de lodos activados o un reactor de flujo discontinuo. El lodo producido puede deshidratarse para fabricar compost y luego reutilizarse o disponerse para rellenar un terreno o en aplicación terrestre (WEF, 1977).



**Figura 2** Tratamiento de lodos sépticos empleando lodos activados.

### 1.1.5. Tratamiento de lodos de fosa séptica como lodos

Las opciones para el tratamiento de los lodos de tanques sépticos como lodos incluyen el compostaje, la aplicación en terreno, la digestión aerobia y anaerobia, la oxidación química y la estabilización con cal (U.S. EPA, 1984). Los procesos que se usan en general para sistemas pequeños son el compostaje, la aplicación en terreno y la digestión aerobia.

El compostaje es la estabilización de los desechos orgánicos a través de la descomposición biológica aerobia. Los tipos diferentes de compostaje incluyen

dos métodos al aire libre: con volteo y con pilas estáticas para compostaje y cerrado para compostaje mecánico. El lodo de los tanques sépticos debe deshidratarse antes de iniciar el proceso de compostaje. El compost producido puede venderse o regalarse.

La digestión aerobia se practica normalmente en tanques abiertos o en recipientes. Se necesitan tiempos de retención de los sólidos de 30 a 40 días para estabilización a temperaturas de 18 a 29 °C (U.S. EPA, 1984). La aireación superficial o los difusores sumergidos se utilizan para mantener un nivel mínimo de oxígeno disuelto de 1 mg/l. Sin aeración adecuada se pueden producir olores. Con aireación en exceso puede haber problemas de formación de espumas. Debido a estas limitaciones, a los tiempos de retención largos, a la inversión de mucho capital y a los altos costos de operación (comparado con el tratamiento en suelo o lagunas), es poco probable que la digestión aerobia sea atractiva en el sentido económico excepto para grandes instalaciones de tratamiento de lodos de tanques sépticos o para aquellas independientes con limitaciones de terreno. (U.S. EPA, 1984)

La digestión anaeróbica no se asocia, por lo general, con los sistemas pequeños de aguas residuales debido a su complejidad. Estos deben mezclarse y calentarse, y es preciso controlar el pH del lodo. Además, hay que recuperar el gas para usarlo o quemarlo al aire libre. Por estas razones, la digestión anaeróbica se confina, de ordinario, a plantas de tratamiento convencionales grandes. (Tchobanoglous & Burton, 1991)

El proceso de oxidación química más común contempla el uso de cloro gas para la estabilización del líquido de fosas sépticas. Debido al coste y complejidad de este sistema y otros similares, la oxidación química no se ha empleado de forma generalizada para el tratamiento del líquido de fosas sépticas. Al igual que en el caso de la estabilización con cal, se puede emplear como solución de tratamiento provisional, pero tanto el líquido como los sólidos se deben evacuar por separado.

En el proceso de estabilización con cal, ésta se añade para estabilizar el líquido de fosas sépticas y destruir los microorganismos patógenos. Para que el

proceso resulte efectivo, se debe elevar el pH hasta 12 o un valor superior durante un mínimo de 30 minutos. Una vez finalizado el tratamiento con cal, es necesario retirar los sólidos. El líquido y los sólidos se deben evacuar por separado. Debido al número de fases de tratamiento de que consta el sistema y al coste de los reactivos químicos necesarios, este proceso no se suele emplear como solución a largo plazo.

#### **1.1.6. Tratamiento de lodos en suelo**

El tratamiento en suelo o la aplicación en terreno constituyen el principal método de tratamiento y disposición de lodos de tanques sépticos en Estados Unidos (U.S. EPA, 1984). El tratamiento de lodos se logra principalmente por medio del método de tasa baja, aunque con muchas variaciones en la técnica. En Tabla IV se presenta un resumen de las técnicas de aplicación superficial terrestre, en tanto que las técnicas de aplicación subsuperficial terrestre se resumen en la Tabla V.

**Tabla IV** Técnicas de aplicación en terrenos superficiales para lodos sépticos

Técnica	Líquido o lodo	Características	Ventaja	Desventaja
Riego con camión transportador	Líquido	Camiones de 500 a 200 galones	Algunos camiones pueden usarse para recolección, transporte y aplicación	Emana olor durante el riego. Se necesita almacenamiento. La pendiente se limita al 8%
Riego con tractor y camioneta	Líquido o lodo	Capacidad de 300 a 3000 galones	Se libera al camión transportador durante los periodos de uso intenso.	Emana olores durante el riego. Se necesita almacenamiento. La pendiente se limita al 8%.
Irrigación por surcos	Líquido	Se necesita nivelar la superficie	Se requiere menos energía que con la aplicación por aspersores.	Se necesita laguna de almacenamientos. Existe potencial de olores. Las pendientes oscilan entre 0.5 y 1.5%
Riego superficial	Líquido	Para usar en suelos con pendiente y vegetación.	Se puede aplicar entre zanjas	Resulta difícil lograr la aplicación uniforme de sólidos. Hay control de escorrentía. Las pendientes oscilan entre 2 y 8%.
Irrigación con aspersores	Líquido	Bocas de orificios grandes	Para usar en tierras empinadas o desniveladas. Los sólidos se aplican con uniformidad.	Existe potencial de olores. Se necesita mucha energía. Se necesita almacenamiento. Se requiere acondicionar para el invierno.

Crites & Tchobanoglous (2000).

**Tabla V** Técnicas de aplicación subsuperficiales para lodos sépticos

Técnica	Líquido o lodo	Características	Ventaja	Desventaja
Carro tanque con arado	Líquido	Arado arrastrado por un camión	Olor mínimo	Las pendientes se limitan al 8%. Se necesita laguna de almacenamiento durante el invierno. Los tiempos de aplicación son mayores que para técnicas superficiales.
Tractor con arado	Líquido	El lodo del tanque séptico se aplica en los surcos en pequeñas franjas y se cubre con el arado.	Olor mínimo	Las pendientes se limitan al 8%. Se necesita laguna de almacenamiento durante el invierno. Los tiempos de aplicación son mayores que para técnicas superficiales.
Inyección subsuperficial	Líquido	El lodo de tanques sépticos se coloca en aberturas hechas en la labranza. Los vehículos se mantienen alejados de la zona durante una a dos semanas después de la inyección.	El inyector puede montarse sobre la parte trasera de algunos camiones. No hay olores.	Las pendientes se limitan al 8%. Se necesita laguna de almacenamiento durante el invierno.

Crites & Tchobanoglous (2000).

### **1.1.7. Tratamiento acuático de lodos de fosa séptica**

Para tratar el lodo de tanques sépticos se ha usado de forma experimental un proceso relativamente nuevo que combina el tratamiento acuático con aireación y los humedales artificiales. Los lechos de secado cultivados consisten en filtros de grava/arena/tierra plantados con vegetales emergentes, como carrizos, juncos o "cattail" (*Typha*).

### **1.1.8. Métodos de deshidratación de lodo**

La deshidratación es un procedimiento físico en el cual el contenido de humedad se reduce (el contenido de sólidos aumenta). Para deshidratar lodos se utiliza gran variedad de procedimientos y equipos. Sin embargo, para plantas pequeñas, los principales métodos son:

- Lechos de secado o patio de secado de lodos
- Deshidratación mecánica
- Congelamiento del lodo
- Lecho de juncos
- Lagunas

La deshidratación es necesaria porque 1) es más eficiente el transporte del lodo (menos agua), 2) se disminuyen la manipulación y el almacenamiento, 3) se logra el contenido mínimo de sólidos requerido para el relleno de terrenos y 4) se obtiene un menor contenido de sólidos para el compostaje o la quema.

Quizás el método más utilizado es el de las lagunas de secado de lodos. Éstas se pueden emplear para deshidratar el lodo estabilizado combinando la sedimentación (espesamiento por gravedad) y la evaporación. Son características las profundidades de lodo de 0,62 a 1,25 m. Después del espesamiento por

gravedad, el sobrenadante se decanta y regresa a las instalaciones de tratamiento. Las cargas de sólidos son de 36 a 39 kg/m<sup>2</sup> año. (U.S. EPA, 1987)

Cuando las lagunas de secado de lodos están llenas, la entrada del lodo es discontinua y empieza la fase de secado. A medida que la superficie se seca, se forma una costra que se rompe mecánicamente. Cuando el contenido de sólidos alcanza 20 a 30%, el lodo se remueve con cargadores frontales.

## 2. UNIVERSO DE TRABAJO

### 2.1. Descripción general de la empresa recolectora de lodos sépticos

El grupo MAPRECO, fundado el 10 de junio de 1986, en Guatemala es la empresa líder en innovación y desarrollo de alternativas y servicio de calidad para proponer y gestionar soluciones geoambientales. Sus servicios abarcan desde la operación de sanitarios portátiles, prestación de servicios de gestión ambiental (limpieza de fosas sépticas, trampas de grasa, diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento; construcción de fosas sépticas, pozos y campos de absorción), hasta la venta, renta y taller de la maquinaria liviana de construcción.

En el año 2003 se creó la división de Gestión de Proyectos, una nueva área que pretende satisfacer las necesidades de los clientes en el mantenimiento, construcción y rehabilitación de sistemas de depuración de aguas residuales industriales y domiciliarias. También se adquirieron dos camiones especiales para la succión de lodos (ver Figura 3), con los cuales la empresa se logra posicionar como la organización líder en la prestación de este tipo de servicios en Guatemala.



Figura 3 Extracción de agua residual en pozo de absorción.

## 2.2. Cantidad de lodos provenientes de fosas sépticas

Se estima que el volumen diario de extracción, es de aproximadamente de 3800 galones, o 14,38 m<sup>3</sup>. (Observar Tabla VI y Tabla VII para más información). La capacidad de las fosas sépticas está ente 8 y 16 m<sup>3</sup>. Las pequeñas corresponden generalmente a fosas domésticas y las grandes, a industriales.

**Tabla VI** Volumen de lodo aproximado transportado en el año 2009

Mes	Pozo de absorción	Fosa séptica	Trampa de grasa	Total mensual
Enero	88	304	8	400
Febrero	32	368	40	440
Marzo	32	672	0	704
Abril	16	472	24	512
Mayo	64	496	72	632
Junio	40	896	16	952
Julio	40	664	32	736
Agosto	64	496	48	608
Septiembre	56	152	32	240
Octubre	104	376	16	496
Noviembre	120	296	64	480
<b>Anual</b>	<b>656</b>	<b>5192</b>	<b>352</b>	<b>6200</b>

Fuente: MAPRECO Sociedad Anónima

Mapreco cuenta además, con un departamento encargado del tratamiento y limpieza de sistemas de aguas residuales (fosas sépticas, pozos, plantas de tratamiento, campos de absorción, cajas de registro, drenajes, etc.). El trabajo lo realiza personal capacitado en el área, y la empresa dispone de varios camiones cisterna para realizar estas labores. Los camiones más utilizados para este tipo de trabajos son:

- **De dos metros cúbicos:** camión con capacidad para dos metros cúbicos; es capaz de trabajar por medio de un sistema hidráulico o sistema de vacío. Es ideal para la succión de fosas sépticas pequeñas y cajas de registro.

- **De ocho metros cúbicos:** camión con capacidad para ocho metros cúbicos, que trabaja por medio de un sistema hidráulico. Es ideal para la succión de fosas sépticas, pozos y plantas de tratamiento.
- **De doce metros cúbicos:** camión con capacidad para 12 metros cúbicos, trabaja por medio de sistema de vacío. Es ideal para la succión de trampas de grasa, plantas de tratamiento y fosas sépticas.
- **De dieciséis metros cúbicos:** camión con capacidad para 16 metros cúbicos, trabaja por medio de sistemas de vacío. Se utiliza para las mismas tareas que el camión descrito anteriormente (12 metros cúbicos), la gran diferencia radica en la capacidad de almacenamiento.

También se cuenta con el servicio de vertido in situ, el cual consiste en trasladar el agua residual captada a un área del lugar, determinada previamente (en algunos casos puede utilizarse en forma de riego).

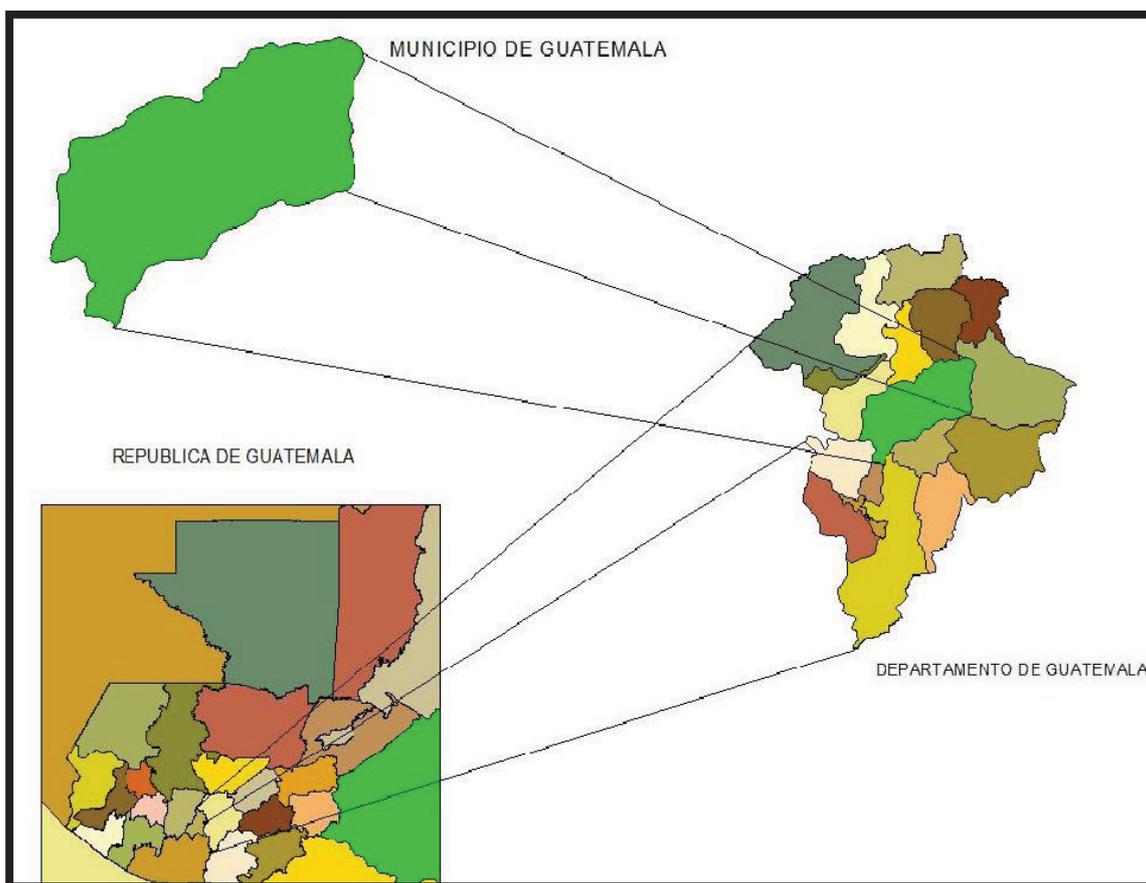
**Tabla VII** Volumen de lodo aproximado transportado en el año 2008

Mes	Pozo de absorción	Fosa séptica	Trampa de grasa	Total mensual
Enero	64	400	16	480
Febrero	48	560	184	792
Marzo	32	840	64	936
Abril	16	472	112	600
Mayo	40	488	128	656
Junio	48	520	24	592
Julio	80	360	40	480
Agosto	104	376	48	528
Septiembre	80	368	24	472
Octubre	48	592	8	648
Noviembre	0	408	0	408
<b>Total Anual</b>	<b>560</b>	<b>5384</b>	<b>648</b>	<b>6592</b>

Fuente: MAPRECO Sociedad Anónima

### 2.3. Ubicación del sitio de disposición final de lodos sépticos

Tentativamente las unidades de tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas estarán ubicadas en la planta experimental de tratamiento de agua residual “Ingeniero Arturo Pazos Sosa”, perteneciente a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Dicha planta está localizada en el final de diagonal 26, colonia Aurora II, zona 13, al sur de la ciudad de Guatemala, en las inmediaciones del Aeropuerto Internacional la Aurora. Sus coordenadas geográficas son; 14° 35’ de latitud norte y 90° 32’ de longitud oeste. La altitud varía desde 1502 msnm en la parte más alta y 1455 msnm en la parte más baja. (Ver Figura 4).



**Figura 4** Ubicación general de la planta de tratamiento de lodos sépticos.

No obstante, esta ubicación no es definitiva, dependerá de los resultados de la caracterización física, química y microbiológica, además de la demanda de

terreno del sistema de tratamiento final. En todo caso, la planta de tratamiento estará ubicada en el municipio de Guatemala, departamento de Guatemala.

#### 2.4. Descripción general de la planta de tratamiento "Ingeniero Arturo Pazos Sosa"

La planta experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas "Ingeniero Arturo Pazos Sosa", cuenta con seis sistemas de tratamiento independientes, que trabajan por gravedad (ver Figura 5). A continuación se menciona cada uno de los sistemas existentes en dicha planta:

- Sistema lagunar
- Sistema de riego, post sedimentación primaria
- Sistema RAFA, filtro percolador, estanque de jacintos.
- Biodigestor clarificador
- Sistema RAFA, filtro percolador, sedimentador secundario y patio de secado de lodos (todas las unidades prefabricadas de polietileno de alta densidad).
- Sistema de filtros percoladores torre.

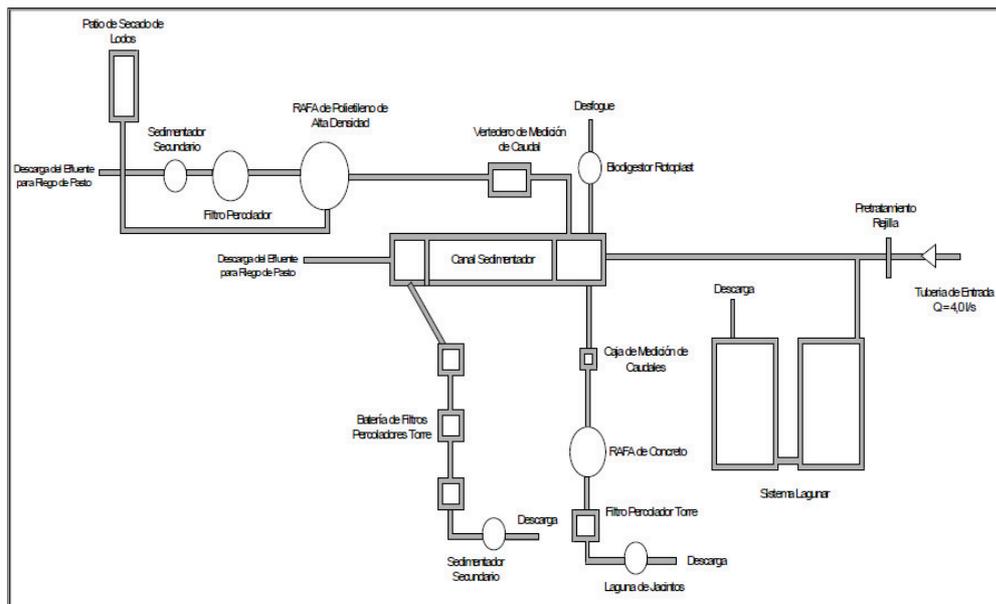


Figura 5 Sistemas de tratamiento de la PTAR "Ingeniero Arturo Pazos"

### **3. METODOLOGÍA**

Antes de determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos por examinar, se procedió a acompañar el camión recolector de lodos provenientes de fosa séptica, para ver las condiciones en que se extraen los lodos.

Se determinó que unas viviendas tienen un sistema de tratamiento compuesto por fosas sépticas – pozo de absorción. Muchas otras no, por lo tanto únicamente la primera muestra de lodo se tomó compuesta, tanto el líquido del pozo de absorción en conjunto como los lodos de la fosa séptica. Las otras once pruebas restantes, representan muestras específicas de los lodos extraídos de fosas sépticas que reciben aguas residuales domésticas.

Se le requirió a la empresa prestadora del servicio, datos estadísticos de años anteriores, en cuanto al volumen de desechos correspondientes a fosa séptica y pozos de absorción (ver Tabla VI y Tabla VII), para poder dimensionar las unidades de tratamiento presentadas en esta investigación.

#### **3.1. Selección de los parámetros de control**

La estabilización de la materia orgánica se consigue biológicamente. Por lo que las condiciones ambientales, temperatura y pH tienen un papel importante en la supervivencia y crecimiento bacteriano. Las bacterias se pueden clasificar de acuerdo con su temperatura óptima de desarrollo en: psicrófilas con temperaturas óptimas de desarrollo de 12 °C a 18 °C; mesófilas que se desarrollan mejor entre los 25 °C a 40 °C y las termófilas, cuya temperatura óptima de desarrollo es de 55 °C a 65 °C. (Metcalf & Eddy, 1996)

En los lodos, el indicador principal del grado de digestión son los sólidos volátiles, (ver Tabla III). Esto se debe a que durante el proceso de digestión siempre se producen ácidos orgánicos de bajo peso molecular conocidos como productos intermedios. Estos pueden ser destilados, por lo que también se les conoce como ácidos volátiles.

El examen microbiológico (coliformes totales y fecales) es importante, debido a que el lodo fresco puede contener toda clase de organismos patógenos, quistes de parásitos y otros organismos similares que subsisten en los excrementos humanos o animales. Por lo tanto, esta clase de lodo constituye un material sumamente importante desde el punto de vista epidemiológico y sanitario. Las condiciones existentes en un digester en buen estado de funcionamiento son tan favorables para las bacterias metanogénicas que los organismos patógenos perecen o su virulencia se debilita. De la misma forma los quistes de parásitos mueren o pierden su capacidad de desarrollo durante el proceso de digestión. No obstante, solo la pasteurización (a 70 °C) o la deshidratación mediante calor (a más de 100 °C) proporciona una seguridad definitiva.

Los nutrientes son necesarios para que las bacterias se vuelvan biológicamente activas. En el lodo del agua residual doméstica existe gran variedad de nutrientes. Así, la relación nitrógeno y fósforo debería ser de siete (Babbit & Baumann, 1982). Cuando el lodo esté destinado al uso agrícola, el contenido de nutrientes reviste suma importancia. El porcentaje de materia orgánica en el lodo digerido por completo es aproximadamente de 45 a 50%, mientras que existe un porcentaje aproximado de 50 a 55% de minerales.

La determinación de metales pesados en lodos es importante para evitar cualquier alteración en el proceso de digestión. El artículo 42, Capítulo VIII del acuerdo gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala “Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” indica los límites máximos permisibles para lodos, de acuerdo con la disposición final de estos. Los metales pesados a que hace referencia la normativa nacional son los siguientes: arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo.

Con base en lo anterior, para el análisis de lodos provenientes de fosa séptica se seleccionaron los siguientes parámetros de control:

- Temperatura
- Potencial de hidrogeno (pH)

- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Sólidos volátiles
- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Macronutrientes en lodos (nitrógeno, fosforo y potasio)
- Metales pesados (arsénico, cadmio, cromo total, mercurio y plomo)

### **3.2. Tipo de muestreo**

Una vez definidos los parámetros de control para la caracterización de los lodos provenientes de fosa séptica, es importante definir el tipo de muestras que se recolectará.

Hay dos tipos de muestras que deben recolectarse, dependiendo del tiempo disponible, de los análisis que tengan que verificarse y del propósito de los análisis. A una se le llama muestra “instantánea” y consiste en una porción de aguas residuales que se toma de una vez. La otra es una muestra integrada o compuesta y consiste en porciones de aguas residuales que se toman a intervalos regulares, proporcional al volumen de cada flujo de agua residual en el momento de recolección. Todas las porciones se mezclan para formar una muestra final representativa de las aguas residuales.

En el caso de la presente investigación, únicamente la primera muestra de lodo se tomó compuesta; el líquido del pozo de absorción en conjunto con los lodos de la fosa séptica. Las once pruebas restantes representan muestras específicas de los lodos extraídos de fosas sépticas que reciben aguas residuales domésticas.

### 3.3. Análisis estadístico para determinar el número de muestras

Con el propósito de calcular el número de fosas sépticas por muestrear, de conformidad con el método 1 060 B, de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la fórmula:

$$N \geq \left(\frac{ts}{U}\right)^2$$

Donde:

N es el número de muestras

t es la t de Student para un nivel de confianza determinado

s es la desviación estándar global

U es el nivel de confianza aceptable

De los resultados experimentales se tiene que:

$$s = 0,020$$

$$U = 0,015$$

Con dicho resultado, se procede, en la Figura 6, a interpolar en las curvas respectivas para un nivel de confianza del 95%, y se obtiene que el número de muestras por tomar deba ser mayor o igual a 9,0. Finalmente, a partir del valor calculado, para el propósito del presente estudio, el número de muestras será de 12,0.

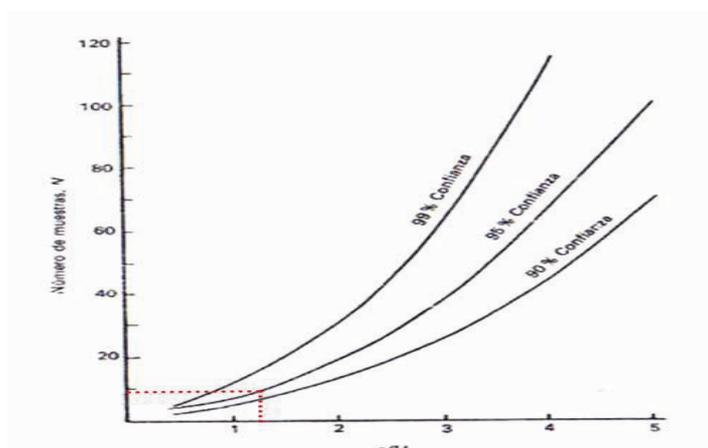


Figura 6 Curvas de niveles de confianza

### 3.4. Puntos de muestreo

Al momento de realizar la toma de muestras en los puntos seleccionados (ver Tabla VIII), se midieron parámetros in situ, como la temperatura. El potencial de hidrógeno (pH) no se midió in situ, por no disponer del equipo necesario para tal labor.

**Tabla VIII** Puntos de muestreo de los lodos sépticos

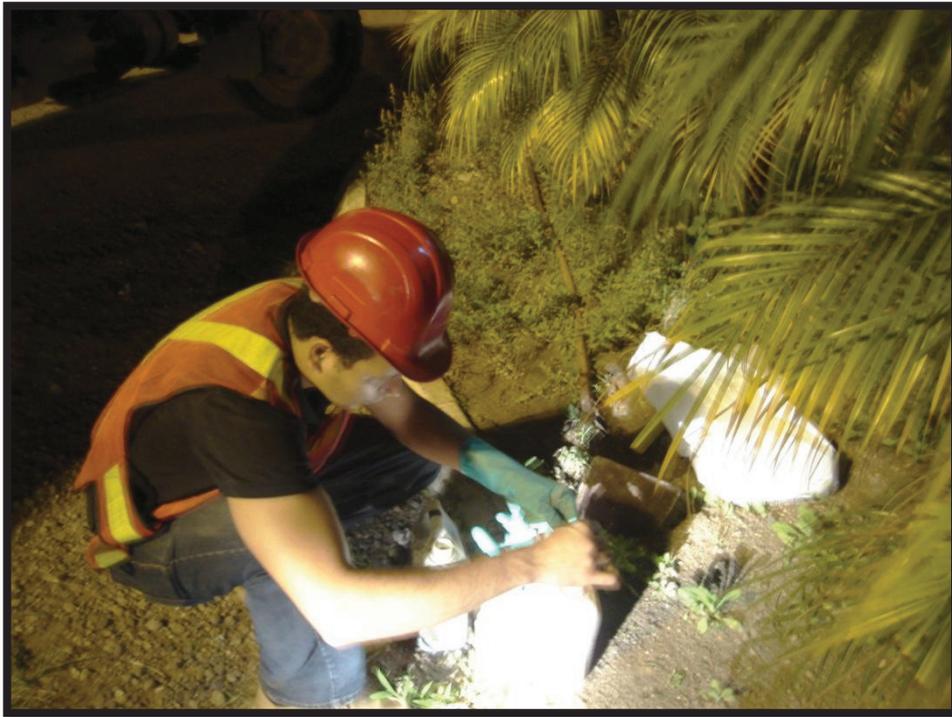
No.	Descripción	Tipo de muestra	Temperatura (°C)	Hora	Fecha
1	Casa de habitación en San Jorge Muxbal, km 14,5 carretera a El Salvador	compuesta	24	10:30	20/11/2009
2	Central portuaria, km 18 ruta al Pacífico, Villanueva	puntual	22	22:30	25/11/2009
3	Industria Flushing Proquigua, Mixco Norte	puntual	22	13:30	27/01/2010
4	Condominio El Socorro, km 12,5 carretera a El Salvador, lote L10B	puntual	23	10:30	28/01/2010
5	Condominio El Socorro, km 12,5 carretera a El Salvador, lote L10C	puntual	23	10:50	29/01/2010
6	KP Textil S.A. San Miguel Petapa, Guatemala	puntual	24	10:15	04/02/2010
7	Industria Frisa en Palín, Escuintla	puntual	22	8:00	11/02/2010
8	Empresa Elitex, 37 calle 15-65 zona 12, avenida Petapa	puntual	24	10:00	22/02/2010
9	Empresa Pintura Sur zona 12, calzada Atanasio Tzul	puntual	25	13:30	22/02/2010
10	Condominio El Socorro, lote 17, km 12,7 carretera a El Salvador	puntual	21	10:00	24/02/2010
11	Condominio El Socorro, lote 21, km 12,7 carretera a El Salvador	puntual	22	10:30	24/02/2010
12	Casa de habitación en Villa Pinula, km 15,0 a San José Pinula	puntual	23	13:30	24/02/2010

Fuente: Trabajo de campo

Cabe mencionar que todas las fosas sépticas muestreadas reciben aguas residuales domésticas. En el numeral 3, perteneciente a una industria, la fosa séptica instalada en ese lugar, recibe el afluente proveniente de servicios sanitarios y lavabos de oficinas y baños del personal que labora en la industria en mención. Casos similares se presentan en el numeral 2, 6, 7, 8 y 9.

### 3.5. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó con el equipo de bioseguridad requerido: casco, guantes de hule, equipo de desinfección (jabón y alcohol).



**Figura 7** Toma de muestras en fosa séptica en Villanueva, Guatemala.

Se tomaron dos galones de lodo por cada punto de muestreo. Un galón se trasladó al Laboratorio Nacional de Salud (LNS), con el objetivo de determinar metales pesados. El otro galón se trasladó al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Tabarini”, de la Escuela Regional de

Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), perteneciente a la Universidad de San Carlos de Guatemala, para determinar pH, nitrógeno y fosforo total, sólidos volátiles, contenido de humedad, coliformes fecales y totales. Ambos galones fueron transportados cuidadosamente, y mantenidos en refrigeración, según directrices de la *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 1998.

También se desecó en laboratorio la muestra de lodo, con el fin de obtener de 15 a 20 gramos de muestra seca, para determinar macronutrientes en lodos (nitrógeno, fosforo y potasio) en el Laboratorio “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados de los análisis de laboratorio

**Tabla IX** Resultados de laboratorio de lodos sépticos domésticos

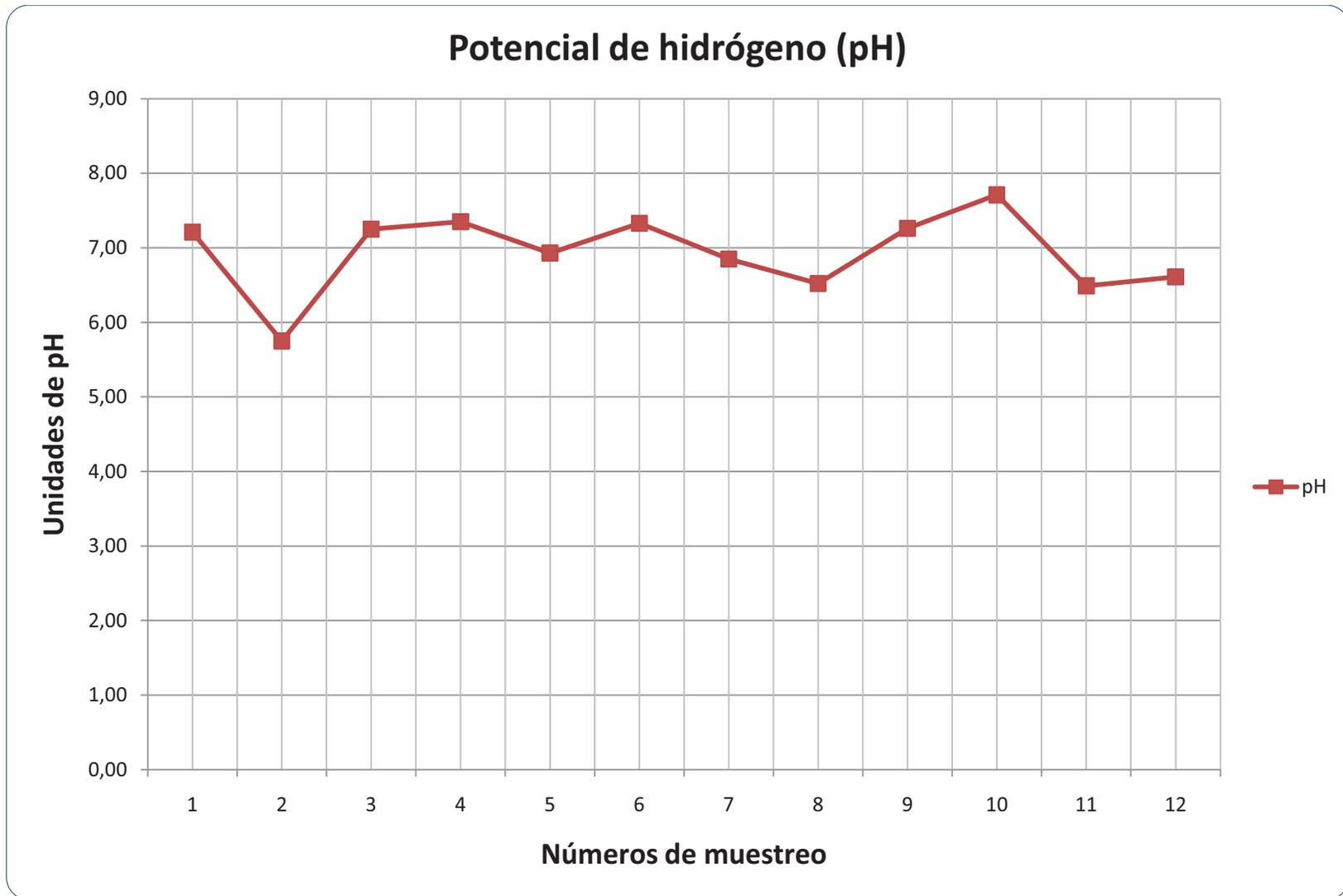
Análisis físico - químico y microbiológico		Lodos provenientes de fosas sépticas domésticas											
Parámetro	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura	°C	24,00	22,00	22,00	23,00	23,00	24,00	22,00	24,00	25,00	21,00	22,00	23,00
Potencial de hidrógeno	Unidad pH	7,21	5,75	7,25	7,35	6,93	7,33	6,85	6,52	7,26	7,71	6,49	6,61
Nitrógeno total	mg/l			6,00	31,60	0,20	13,00	49,00	20,50	150,00	185,00	31,50	7,50
Fósforo total	mg/l			60,00	125,00	34,00	162,50	380,00	120,00	365,00	945,00	435,00	60,00
Sólidos totales	mg/l		62952,00	32794,00	54256,00	2111,00	61101,00	137933,00	12197,00	90092,00	113410,00	20078,00	6704,00
Sólidos fijos	mg/l		24129,00	14614,00	19997,00	106,000	13275,00	79662,00	1632,00	40588,00	71159,00	8490,00	2682,00
Sólidos volátiles	% de ST		61,67%	55,43%	63,14%	94,97%	78,24%	42,24%	86,62%	54,94%	37,25%	57,71%	59,99%
Contenido de humedad	%						93,44%	86,26%	98,74%	90,45%	88,23%	97,99%	99,33%
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1,600E+08		5,794E+07	9,140E+07	9,804E+08	8,600E+11	1,664E+08	2,419E+07	4,721E+06	2,000E+08	1,000E+08	2,851E+06
Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1,600E+08		1,455E+07	8,470E+07	6,015E+08	4,100E+11	3,230E+07	2,419E+07	2,143E+06	1,000E+08	1,000E+08	1,483E+06
Nitrógeno ( N)	%			1,10%	2,64%	1,68%	3,25%	1,59%	5,21%	2,01%	1,33%	1,98%	3,15%
Fósforo (P)	%			0,72%	0,83%	0,51%	0,77%	0,23%	0,75%	0,54%	0,49%	0,74%	0,46%
Potasio (K)	%			0,14%	0,75%	0,17%	0,12%	0,12%	0,22%	0,110%	0,10%	0,120%	0,31%

Análisis físico - químico y microbiológico		Lodos provenientes de fosas sépticas domésticas											
Parámetro	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Arsénico (As)	mg/kg	0,06	0,01	6,94	8,57	10,03							
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,01	0,01	0,11	0,28	0,17							
Cromo total (Cr)	mg/kg	0,01	0,01	0,09	0,11	0,04							
Mercurio (Hg)	mg/kg	0,01	0,00	0,20	0,30	0,36							
Plomo (Pb)	mg/kg	0,38	0,03	23,82	23,31	29,89							

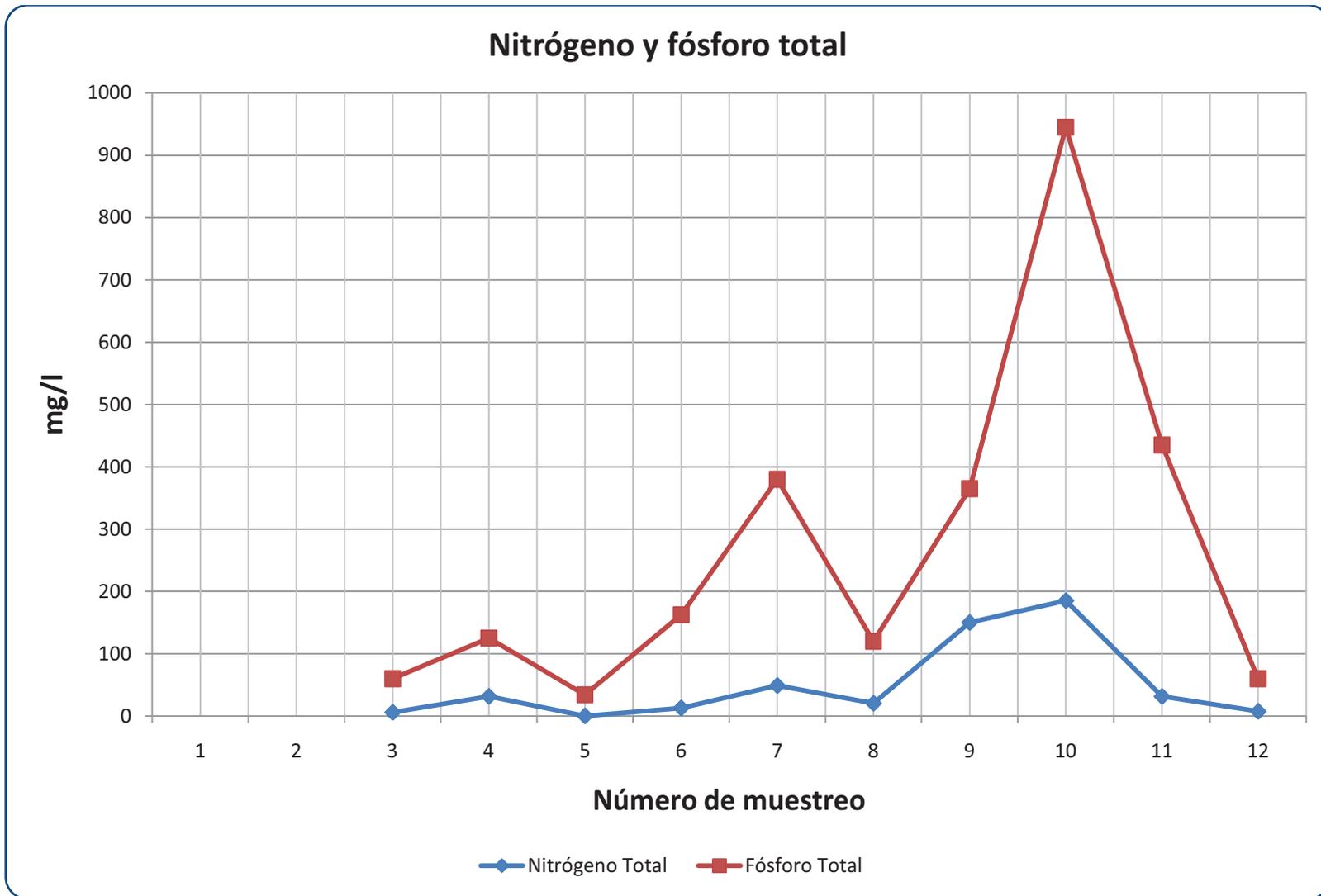
**Tabla X** Parámetros estadísticos de lodos sépticos domésticos

Análisis físico - químico y microbiológico		Parámetros estadísticos			
Parámetro	Unidad	Media (m)	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar (Sx)
Temperatura	°C	22,91	21,00	25,00	1,16
Potencial de hidrógeno	Unidad pH	6,93	5,75	7,71	0,53
Nitrógeno total	mg/l	49,43	0,20	185,00	64,43
Fósforo total	mg/l	268,65	34,00	945,00	279,47
Sólidos totales	mg/l	53966,18	2111,00	137933,00	45038,66
Sólidos fijos	mg/l	25121,27	106,00	79662,00	27511,80
Sólidos volátiles	% de ST	62,93%	37,25%	94,97%	17,51%
Contenido de humedad	%	93,49%	86,26%	99,33%	5,34%
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	7,834E+10	2,851E+06	8,600E+11	2,592E+11
Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	3,737E+10	1,483E+06	4,100E+11	1,236E+11

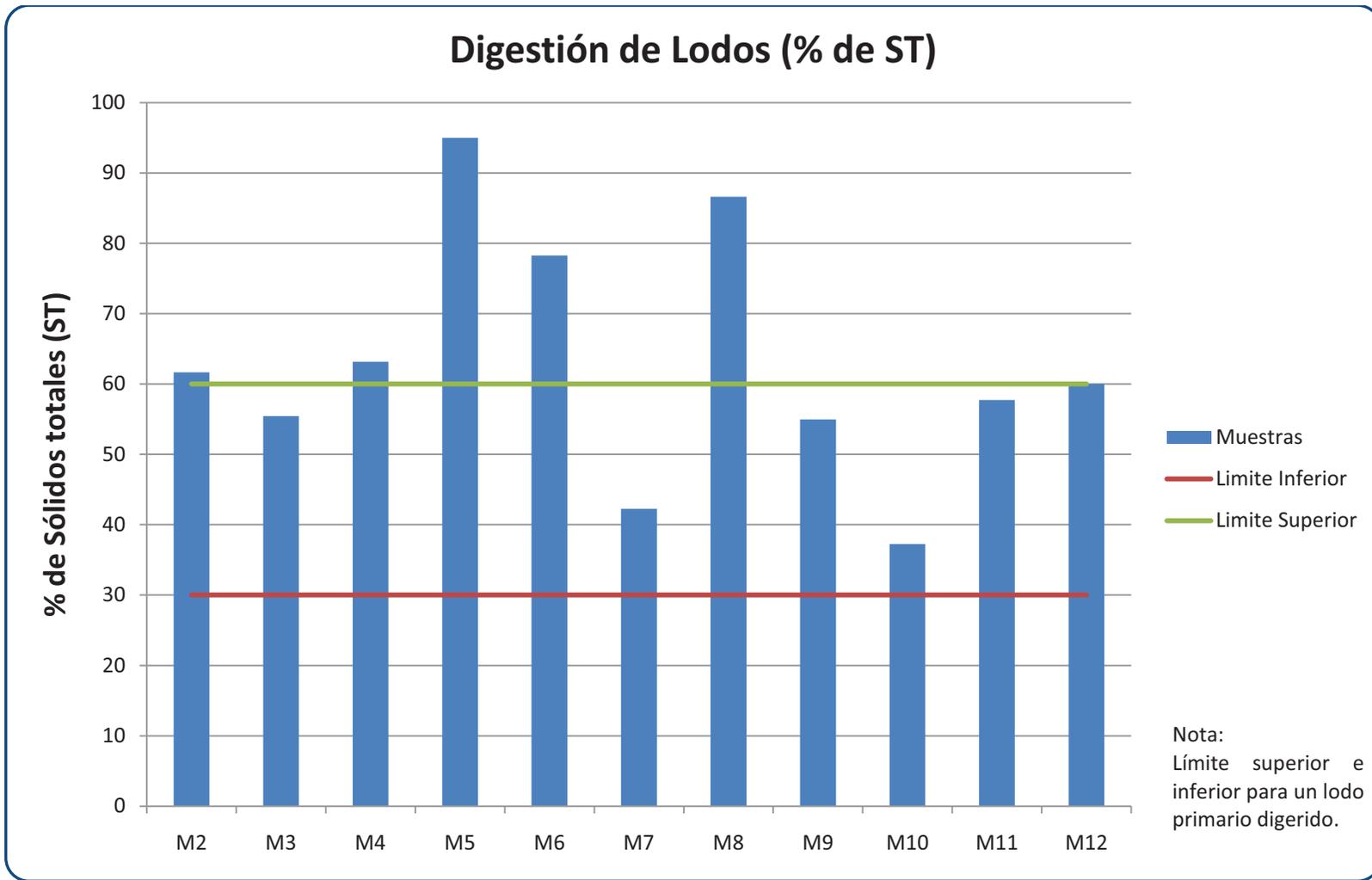
Análisis físico - químico y microbiológico		Parámetros estadísticos			
Parámetro	Unidad	Media (m)	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar (Sx)
Nitrógeno ( N)	%	2,39%	1,10%	5,21%	0,012
Fósforo (P)	%	0,60%	0,23%	0,83%	0,002
Potasio (K)	%	0,22%	0,10%	0,75%	0,002
Arsénico (As)	mg/kg	5,12	0,01	10,03	4,76
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,11	0,00	0,28	0,11
Cromo total (Cr)	mg/kg	0,05	0,01	0,11	0,04
Mercurio (Hg)	mg/kg	0,17	0,00	0,36	0,16
Plomo (Pb)	mg/kg	15,48	0,03	29,89	14,18



**Figura 8** Variabilidad de pH en 12 muestras de lodos de fosas sépticas



**Figura 9** Variabilidad de nitrógeno y fósforo total en lodos sépticos



**Figura 10** Grado de digestión de los lodos sépticos muestreados

### Macronutrientes en lodos de fosas sépticas

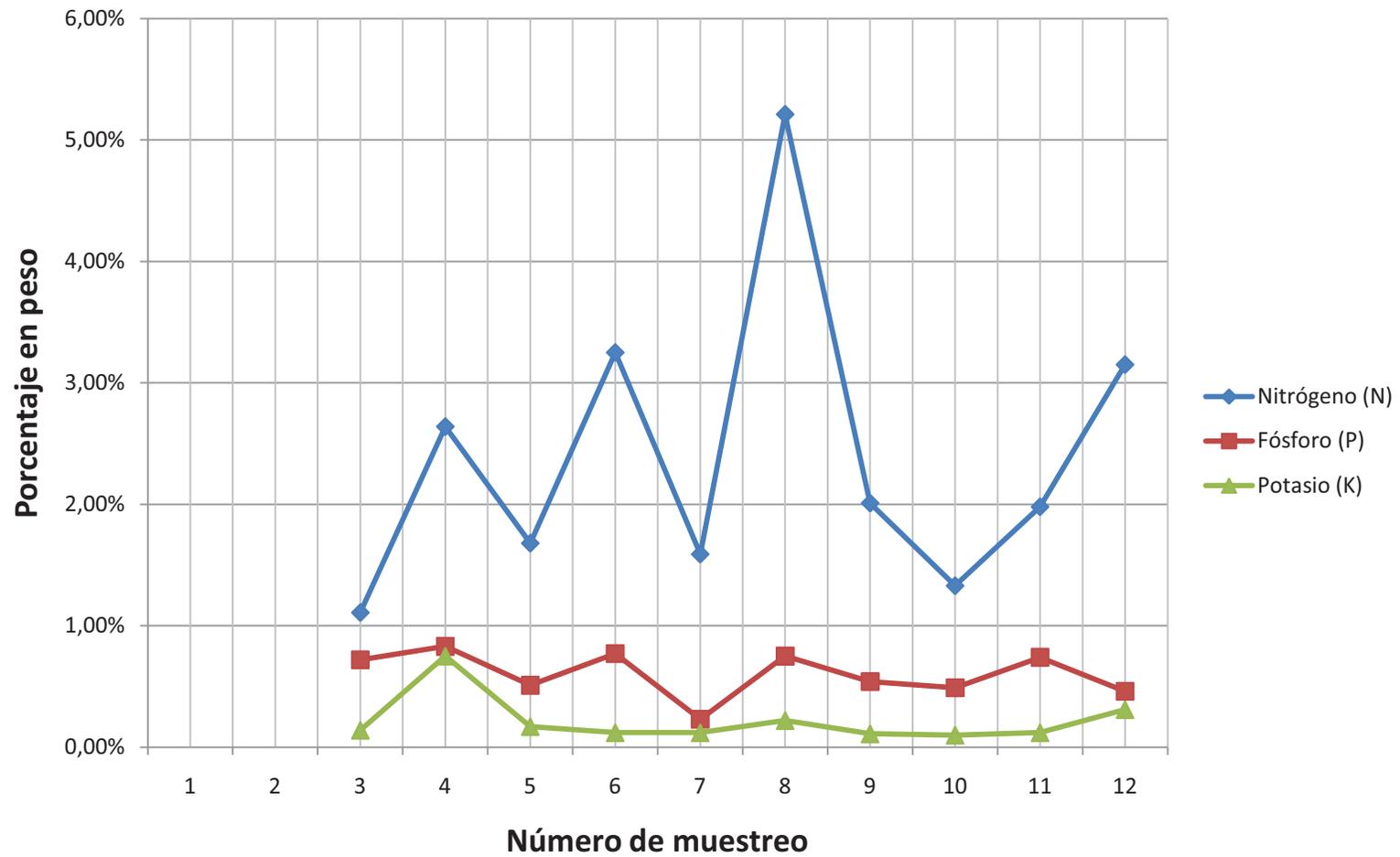
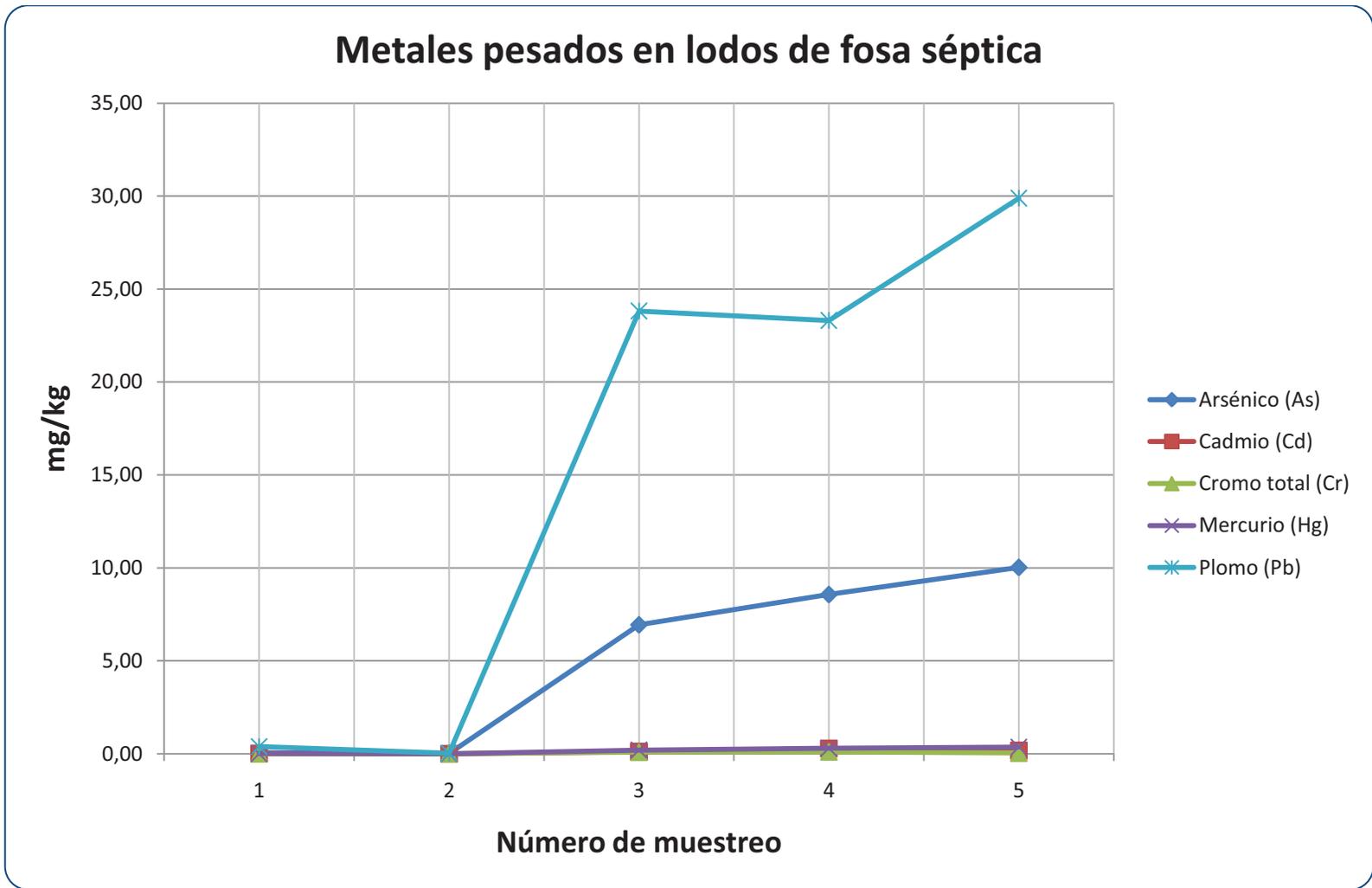


Figura 11 Variabilidad de macronutrientes en los puntos de muestreo



**Figura 12** Variabilidad de metales pesados en los puntos de muestreo

## **5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De los valores obtenidos en la Tabla IX se aprecia la alta variabilidad en las características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos provenientes de fosas sépticas domésticas. Parámetros como el tiempo de almacenamiento, temperatura, infiltración de agua subterránea en tanques sépticos, diseño de los tanques, tecnología y modo de extracción influyen sobre la calidad de los lodos y son responsables de su alta variabilidad.

En conclusión, se puede decir que los lodos provenientes de fosas sépticas constituyen un material sumamente concentrado, variable y muy distinto del de las aguas residuales. Su tratamiento requiere, por lo tanto, procesos y criterios de diseño específicos. Dada la alta variabilidad de este material, el diseño de un sistema de tratamiento no debe basarse sobre características estándar, sino sobre resultados obtenidos caso por caso.

### **5.1. Interpretación de los parámetros seleccionados**

#### **5.1.1. Temperatura**

La estabilización de la materia orgánica se consigue biológicamente, gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Las condiciones ambientales, temperatura y de pH tienen un papel importante en la supervivencia y crecimiento de las bacterias. (Metcalf & Eddy, 1996).

Las bacterias se pueden clasificar de acuerdo con su temperatura óptima de desarrollo en: psicrófilas con temperaturas óptimas de desarrollo de 12 °C a 18 °C; mesófilas que se desarrollan mejor entre los 25°C y 40°C; y las termófilas cuya temperatura óptima de desarrollo es de 55 °C a 65 °C. (Metcalf & Eddy, 1996).

La temperatura registrada en todas las muestras de lodos provenientes de fosa séptica se encontraron en un rango de 21 a 25°C, por tanto se encuentran dentro del rango mesófilo, creándose condiciones aceptables de supervivencia y crecimiento bacteriano.

### **5.1.2. Potencial de hidrógeno**

El potencial de hidrógeno (pH), desempeña un papel importante en el crecimiento de las bacterias. La mayoría de las bacterias no toleran niveles de pH por debajo de 4,0 ni superiores a 9,5. En general, el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6,5 y 7,5. (Metcalf & Eddy, 1996).

Al visualizar la Tabla X se aprecia que el valor promedio de pH encontrado en el universo de trabajo se encuentra dentro del rango óptimo para el crecimiento bacteriano. Únicamente la muestra 2, correspondiente a la Central Portuaria, km 18 ruta al Pacífico, Villanueva, se encuentra por debajo de ese rango óptimo, sin embargo, sigue siendo tolerable para las bacterias contenidas en los lodos.

### **5.1.3. Nitrógeno y fósforo total**

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre su presencia en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente será necesario añadirlo para hacer tratable el agua residual. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. El fósforo total incluye el ortofosfato, polifosfato y los fosfatos orgánicos. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

El promedio de nitrógeno total encontrado en la presente investigación es inferior al promedio establecido en Estados Unidos y Tailandia. (Ver Tabla XI). Al compararlo con la composición típica del agua residual doméstica bruta, su concentración se estipula de mediana a fuerte, por tanto facilitará el método de tratamiento biológico al ayudar de manera significativa en la síntesis de proteínas.

El promedio de fósforo total encontrado en la presente investigación es superior en aproximadamente un 28% al promedio establecido en Estados Unidos. Y cerca de 1800% superior a la concentración clasificada como fuerte, en la composición típica del agua residual doméstica bruta de los Estados Unidos.

Cabe mencionar que en los casos en que sea necesario el control del crecimiento de algas en la masa de agua receptora para preservar los usos a que se destina, puede ser necesaria la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido.

**Tabla XI** Parámetros estadísticos de lodos sépticos

Análisis físico - químico y microbiológico		Valores promedio de países (Media $\mu$ )		
Parámetro	Unidad	Guatemala*	U.S.**	Bangkok***
Temperatura	°C	22,92		28,00
Potencial de hidrógeno	Unidad pH	6,94	7,05	7,50
Nitrógeno total	mg/l	49,43	588,00	1000,00
Fósforo total	mg/l	268,65	210,00	
Sólidos totales	mg/l	53966,18	34106,00	19000,00
Sólidos fijos	mg/l	25121,27	11006,00	5500,00
Sólidos volátiles	% de ST	62,93%	67,73%	71,05%
Contenido de humedad	%	93,49%	95,00%	
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	7,83E+10		
Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	3,74E+10		1,20E+07
Nitrógeno ( N)	% en peso	2,39%	2,50%	
Fósforo (P)	% en peso	0,60%	1,60%	
Potasio (K)	% en peso	0,22%	0,40%	
Arsénico (As)	mg/kg	5,12	4,69	
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,11	7,92	2,79
Cromo total (Cr)	mg/kg	0,05	26,97	20,10
Mercurio (Hg)	mg/kg	0,17	6,74	
Plomo (Pb)	mg/kg	15,49	152,46	17,08

\* Valores obtenidos en la presente investigación para la ciudad de Guatemala y alrededores.

\*\* Tomado de U.S. EPA (1987) y Sommers (1980).

\*\*\* Tomado del Asian Institute of Technology, Bangkok, Tailandia.

#### **5.1.4. Sólidos totales, fijos y volátiles**

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales (ST) como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos totales a su vez pueden ser divididos, en función de su volatilidad a  $550 \pm 50$  °C. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se empleen los términos “sólidos volátiles” y “sólidos fijos” para hacer referencia, respectivamente, a los componentes orgánicos e inorgánicos (o minerales) de los sólidos en suspensión. A la temperatura de  $550 \pm 50$  °C, la descomposición de sales inorgánicas se limita al caso del carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y dióxido de carbono al alcanzar la temperatura de 350 °C. De las sales inorgánicas, la más frecuente y preponderante es el carbonato de calcio, que se mantiene estable hasta una temperatura de 825 °C. El análisis de sólidos volátiles se emplea habitualmente para determinar la estabilidad biológica de fangos de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1996).

El promedio de sólidos totales y fijos de las muestras de lodos provenientes de fosas sépticas de la ciudad Guatemala y sus alrededores supera el valor promedio de países como Tailandia y Estados Unidos. Sin embargo, al analizar el valor promedio del grado de digestión de los lodos (sólidos volátiles), se encuentra menos crudo que los valores promedios de ambos países. Al comparar con el valor promedio encontrado de (62,94% de ST) con la Tabla III, se puede apreciar que aún los lodos no se encuentran totalmente digeridos, clasificándose como lodo crudo al encontrarse dentro del intervalo de 60-80% de ST.

### **5.1.5. Contenido de humedad**

El contenido de agua en el lodo es, técnicamente, una de sus características más importantes. Se determina a partir de la pérdida de peso debido a la total deshidratación del lodo en el baño maría u horno de secado (a 105 °C).

El contenido de humedad encontrado en la investigación es ligeramente inferior al promedio de los Estados Unidos, comprobando la definición de lodos de fosas sépticas encontrada en la literatura, al especificarlo como un material semilíquido. Por tanto se constituye en un parámetro de diseño indispensable, para proponer específicamente unidades de tratamiento de sedimentación/espesamiento que separen la parte sólida de la líquida.

### **5.1.6. Coliformes totales y fecales**

Las bacterias del grupo coliforme se utilizan desde el inicio del siglo XX como indicadores de contaminación fecal. Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de los coliformes como organismos indicadores es problemático debido a que la *Aerobacter* y ciertas clases de *Escherichia* pueden crecer en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes no siempre es sinónimo de contaminación con residuos humanos.

Fue por esta razón que en los últimos años se desarrollaron ensayos capaces de distinguir entre coliformes totales y coliformes fecales. Estos últimos a diferencia de los primeros, son tolerantes a temperaturas más altas (44 °C), y son los indicadores por excelencia de contaminación fecal. Su presencia debe ser interpretada como indicadora de la probable presencia de bacterias patógenas.

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación presente en el agua es de origen fecal. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

En esta investigación todas las muestras analizadas tienen fuerte presencia del grupo coliforme, tanto total como fecal; por tanto, es muy probable que estén contaminadas con organismos patógenos causantes de enfermedades. Esto es de vital importancia sanitaria, en especial, al momento de realizar la extracción y la disposición final de los lodos provenientes de fosas sépticas. Los operadores que realicen tal labor, deberán usar el equipo de bioseguridad requerido: jabón desinfectante y alcohol etílico al momento de terminar las labores de extracción y disposición mencionadas. De no ser así, correrán el riesgo de contraer enfermedades, que van desde un simple caso diarreico, leptospirosis, hasta úlceras en el intestino delgado.

#### **5.1.7. Macronutrientes**

Como se mencionó anteriormente, la muestra de lodo se desecó en el laboratorio con el fin de obtener de 15 a 20 gramos de muestra seca, para determinar macronutrientes en lodos (nitrógeno, fósforo y potasio). Esto con el objetivo de analizar su poder acondicionador al suelo. Los valores encontrados de la capacidad fertilizante de los lodos provenientes de fosas sépticas son relativamente bajos con una relación promedio NPK (nitrógeno, fósforo y potasio, porcentaje en peso) de 2,39: 0,60: 0,22. Una mezcla de fertilizantes tendrá una proporción de NPK de 10:10:10 (Crites & Tchobanoglous, 2000).

#### **5.1.8. Metales pesados**

Para su adecuado crecimiento todos los organismos vivos requieren elementos como hierro, cromo, cobre, cinc y cobalto en cantidades diferentes (cantidades macro y micro). Aunque las cantidades macro y micro de metales son esenciales para un normal desarrollo de la vida biológica, estos elementos pueden llegar a ser tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas. Cuanto más se utilicen las aguas residuales tratadas para riego agrícola y de zonas verdes, una gran variedad de metales se deben determinar para estimar los efectos adversos

que puedan ocurrir. En lugares donde se dispone de lodos estabilizados por compostaje sobre suelos agrícolas, es conveniente determinar elementos como arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, molibdeno, níquel, selenio y cinc en lodos. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

## **5.2. Comparación de resultados con la normativa nacional**

La normativa nacional, que aplica en el presente estudio, es la Norma de Guatemala, denominada: Acuerdo Gubernativo No.236-2006 “REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS”. El acuerdo gubernativo en mención define lodos como: los sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales. Por tanto, se deberán comparar los resultados obtenidos con los Parámetros y Límites Máximos Permisibles para Lodos, establecidos en el Artículo 42, Capítulo VIII del Acuerdo Gubernativo No.236-2006. Dentro de este capítulo únicamente se contemplan los metales pesados.

### **5.2.1. Vertidos a cuerpos receptores**

Los resultados de metales pesados obtenidos en la caracterización de los lodos provenientes de fosas sépticas no superan los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 (Ver Tabla XII). Los valores máximos encontrados fueron de 10,03 y 29,89 mg/kg para arsénico y plomo respectivamente y se pueden aplicar al suelo al estar dentro del rango permisible por la normativa nacional.

**Tabla XII** Parámetros y límites máximos permisibles para lodos

Disposición final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	mg/kg	50	100	>100
Cadmio	mg/kg	50	100	>100
Cromo	mg/kg	1500	3000	>3000
Mercurio	mg/kg	25	50	>50
Plomo	mg/kg	500	1000	>1000

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006, República de Guatemala

## 6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS SÉPTICOS

Como se definió en la sección 1.1.2 de este documento, existen diferentes tratamientos para la disposición final de los lodos provenientes de fosas sépticas: tratamiento en una planta de tratamiento municipal, tratamiento como fuente de aguas residuales, tratamiento como lodos, tratamiento en suelo y tratamiento acuático.

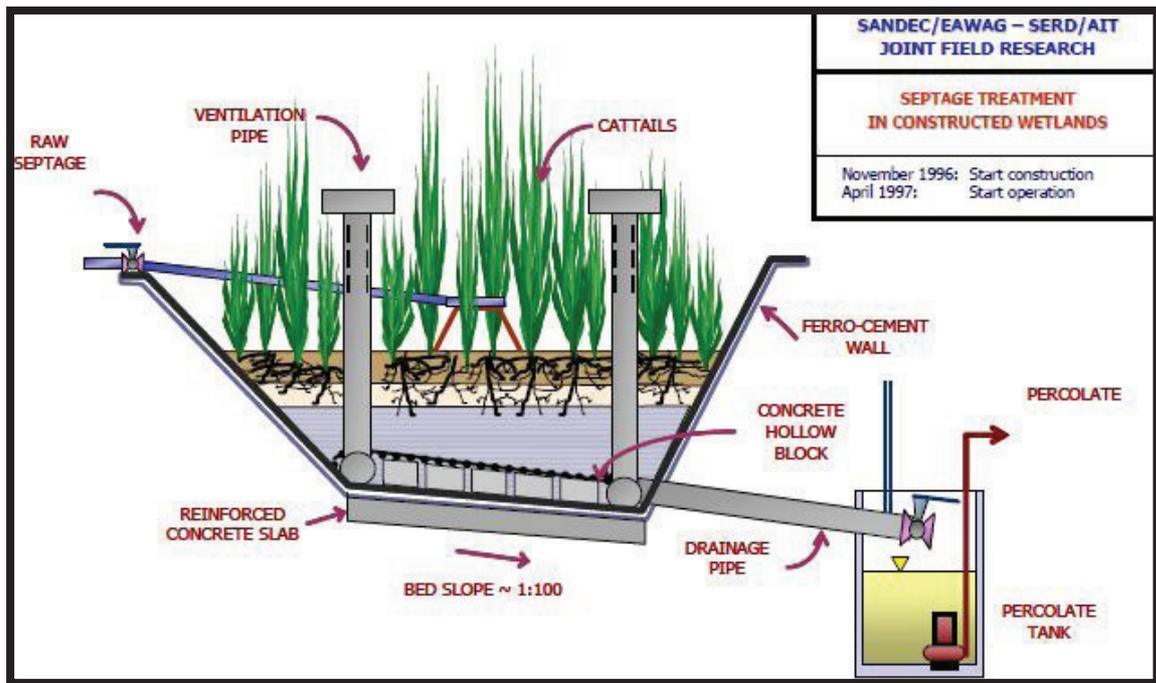
Después de una extensa investigación, y de acuerdo con la caracterización física, química y microbiológica realizada a los lodos provenientes de fosas sépticas, se estableció que los métodos idóneos, económicos y técnicamente factibles de acuerdo con el medio, para el tratamiento y la disposición final de lodos son: 1) Lechos de secado cultivados (humedales artificiales de flujo vertical), 2) Lagunas de secado de lodos (lagunas de estabilización). A continuación, se detalla cada sistema, sus ventajas, desventajas y principios de diseño.

### 6.1. Sistema uno: lechos de secado cultivados

Los lechos de secado cultivados consisten en filtros de grava/arena/tierra plantados con vegetales emergentes, como junco (*scirpus lacustris*), lirio (*eichhornia crassipes*).

Tres lechos piloto de secado cultivado con “cattail” (*typha angustifolia*) de 25 m<sup>2</sup> cada uno, han sido exhaustivamente investigados desde principios de 1997 en el Asian Institute of Technology (AIT) en Bangkok, Tailandia. La planta está dotada de sistemas de drenaje y ventilación (ver Figura 13) y trata lodos de tanques sépticos de unas 3000 personas. Al inicio fue aclimatada con aguas residuales y gradualmente cargada con lodos de tanques sépticos de Bangkok en un modo operativo de flujo vertical. El líquido percolado se recoge y se carga en

un sistema de lagunas de estabilización con biomasa fijada. Los objetivos del proyecto consistieron en evaluar la aptitud de esta opción para el tratamiento de lodos de tanques sépticos y establecer directrices de diseño y de operación (Koottatep et al, 1999).



**Figura 13** Lechos de secados construidos en Bangkok, Tailandia.

El bloqueo del líquido percolado en el sistema de drenaje fue iniciado para evitar que las plantas se marchitaran, especialmente durante la época seca. Las condiciones operativas bajo las cuales las eficiencias de remoción máximas fueron medidas y durante las cuales los “cattails” no revelaron síntomas de marchitamiento, se pueden apreciar en la Tabla XIII.

**Tabla XIII** Condiciones operativas óptimas de los lechos de secado

Parámetros operativos óptimos	
Tasa de carga de sólidos	250 kg ST/m <sup>2</sup> año
Frecuencia de carga de lodos	una vez por semana
Período de bloqueo del líquido percolado	6 días

Fuente: Asian Institute of Technology.

El bloqueo de líquido percolado de seis días tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas y exhibe las más altas eficiencias de remoción de nitrógeno (N), pues crea condiciones que favorecen las reacciones de nitrificación y desnitrificación. Sin embargo, no se considera un efecto positivo si se desea reusar los líquidos percolados en la agricultura. Para reducir las pérdidas de nitrógeno se debería optar, en este caso, por un período de bloqueo más corto, para garantizar el crecimiento sano de las plantas.

El propósito de las plantas es ofrecer una vía para el drenaje continuo de agua de la capa de lodo. El movimiento y crecimiento de las plantas crea vías de drenaje del agua de los sólidos biológicos hacia el drenaje. Las plantas también absorben agua del lodo. La transferencia de oxígeno hacia las raíces de las plantas ayuda en la estabilización biológica y en la mineralización del lodo. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Las eficiencias de remoción obtenidas en el AIT, en Bangkok fueron de 86, 98 y 81% para los parámetros de sólidos suspendidos (SS), demanda química de oxígeno (DQO) y amonio ( $\text{NH}_4$ ) respectivamente. Se extrajeron los lodos de los filtros solamente después de cinco años. Las investigaciones llevadas a cabo en el AIT permitieron emitir recomendaciones sobre el diseño y modo de operación de este tipo de sistema de tratamiento.

## **6.2. Sistema dos: lagunas de secado de lodos**

Las lagunas de secado se pueden usar para deshidratar el lodo estabilizado combinando la sedimentación (espesamiento por gravedad) y la evaporación. Son características las profundidades de lagunas de 0,62 a 1,25 m. Después del espesamiento por gravedad, el sobrenadante se decanta y regresa a las instalaciones de tratamiento. Las cargas de sólidos son de 36 a 39  $\text{kg/m}^2$  año. (U.S. EPA, 1987)

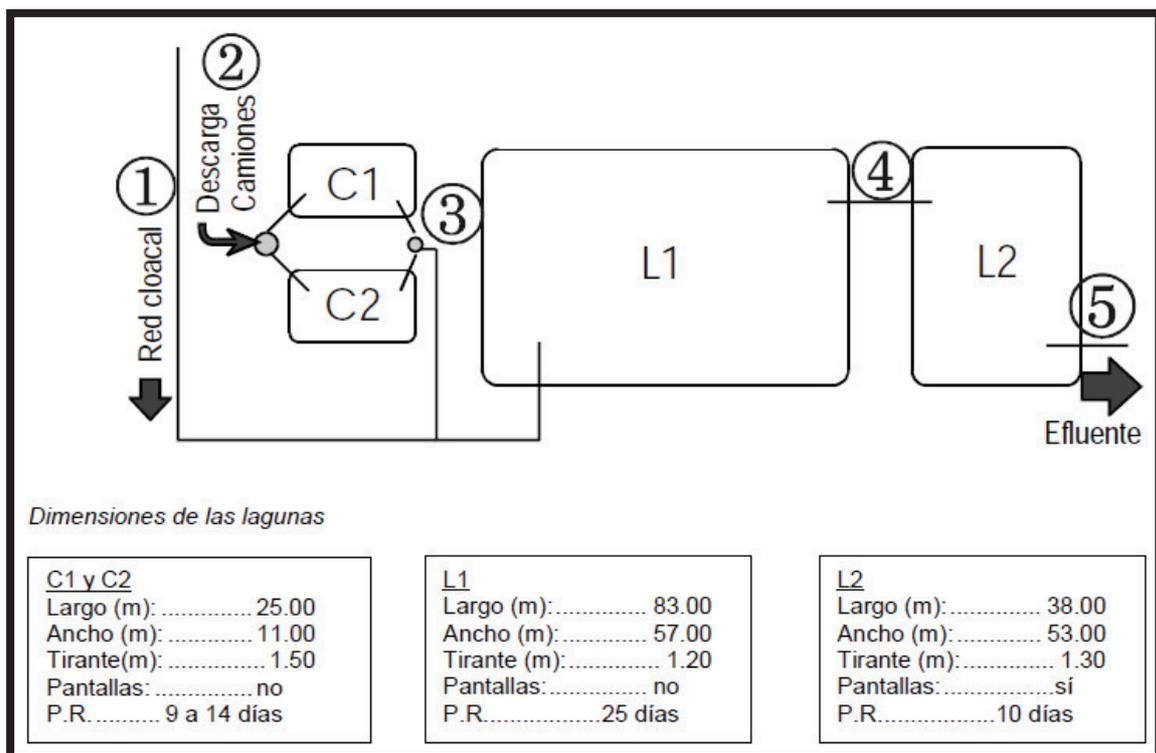
Cuando las lagunas de secado de lodos están llenas, la entrada del lodo es discontinua y empieza la fase de secado. A medida que la superficie se seca, se

forma una costra que se rompe mecánicamente. Cuando el contenido de sólidos alcanza 20 a 30%, el lodo se remueve con cargadores frontales.

El ciclo completo para una laguna puede tomar de uno a tres años dependiendo del clima, el contenido final deseado de sólidos, la profundidad del lodo aplicado y la frecuencia con la que éste se voltea cuando se está secando. Se necesitan mínimo dos celdas. Puede haber problemas de olores ocasionales, moscas y mosquitos, de manera que es importante montar la planta en un lugar alejado (U.S. EPA, 1987).

El Centro de Ingeniería Sanitaria (CIS) de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina inició un proyecto de investigación para determinar la eficiencia de las lagunas de estabilización en el tratamiento de los líquidos cloacales transportados por camiones atmosféricos. Para ello, durante dos años se llevó a cabo el monitoreo de un sistema de lagunas diseñado para tratar exclusivamente ese tipo de líquidos. En el año 1988 se inauguró una planta de tratamiento de líquidos cloacales en La localidad de Alcorta, situada a 100 km de la ciudad de Rosario, consistente en dos lagunas de estabilización: primaria y secundaria que recibían los líquidos cloacales de aproximadamente 2000 habitantes y un promedio de cinco camiones atmosféricos (conteniendo lodos provenientes de fosas sépticas) diarios. Luego de cinco años de funcionamiento, la laguna primaria quedó prácticamente colmatada con lodos y se decidió implementar una serie de modificaciones propuestas por el CIS. En la Figura 14 se presenta un esquema del sistema ya modificado:

- a) Vaciado de la primera laguna.
- b) Colocación de pantallas en la segunda laguna.



**Figura 14** Co tratamiento de lodos fecales en Alcorta, Argentina.

c) Construcción de una cámara de cloración.

d) Construcción de dos lagunas previas para tratamiento de descargas de camiones atmosféricos para funcionar en forma alternada.

Las conclusiones a las que llegó el estudio de CIS fueron las siguientes:

La calidad del efluente de las lagunas para descarga de camiones es adecuada para volcarlo en un sistema de lagunas diseñadas para tratar líquidos cloacales o en una planta de tratamiento con algún otro proceso biológico.

Las lagunas deben ser proyectadas como lagunas de sedimentación. El valor de  $0,02 \text{ m}^3$  de sólidos por  $\text{m}^3$  de líquido descargado puede tomarse como base para el diseño. Es aconsejable que las cargas volumétricas sean menores a  $80 \text{ g DBO/m}^3 \cdot \text{día}$ .

Se ha demostrado que el secado de los lodos en la misma laguna es posible ya que se obtiene un grado de humedad que permite su manejo y transporte.

Deben continuarse las investigaciones acerca de la presencia de huevos de parásitos humanos para decidir acerca del posterior uso agrícola de los lodos.

Cuando se proyecta una planta de tratamiento de líquidos cloacales deben proyectarse instalaciones para el tratamiento previo de la descarga de camiones atmosféricos que podrán ser gradualmente desactivadas a medida que aumenta el número de habitantes servidos por la red de colectoras.

### **6.3. Selección de alternativa**

Las alternativas de tratamiento han sido evaluadas por medio de una matriz, en la que se valoran aspectos técnicos, de operación, mantenimiento y económicos, a los cuales se les asignó un valor binario, uno para la alternativa más favorable y cero para la menos favorable. En el anexo 2, se puede visualizar el pre dimensionamiento de ambas alternativas. Los aspectos tomados para la evaluación se describen a continuación:

**Aspectos técnicos:** son los relacionados con la eficiencia teórica del sistema y con las facilidades de construcción, requerimientos de área, etc.

#### Eficiencia teórica del sistema

La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) del sistema uno es de 90%, mientras que del sistema dos es de aproximadamente 80%. Los sólidos acumulados tienen baja cantidad de huevos de helmintos y satisfacen los estándares de calidad para su uso agrícola. (Debido al prolongado tiempo de almacenamiento de lodos en el sistema uno, se produce la reducción de los huevos de helmintos, y mejora su calidad microbiológica). En el sistema dos, es menor el tiempo de almacenamiento de lodos.

#### Frecuencia de remoción de lodos

La frecuencia de remoción de lodos del sistema uno se realizará cada tres años, mientras que para el sistema dos, será de año y medio. Si bien, esto traerá como consecuencia la reducción en los costos de operación y mantenimiento, el

deseo del generador de los lodos provenientes de fosas sépticas es poder realizar con mayor frecuencia la remoción de lodos, con el objetivo de utilizarlos como estabilizador de suelos.

#### Movimiento de tierra para la conformación de taludes

El movimiento de tierras constituye uno de los grandes rubros en la construcción de lagunas y lechos de secado de lodos. En el sistema uno, se tiene un volumen de aproximadamente  $1228,52 \text{ m}^3$ ; mientras que para el sistema dos el volumen de movimiento de tierra asciende a  $486,31 \text{ m}^3$ .

#### Requerimientos de área

El área requerida al momento de diseñar una planta de tratamiento de lodos fecales se vuelve un parámetro sumamente importante, debido al alto costo de terreno que impera en el medio centroamericano, y a la escasa disponibilidad de éste cuando la comunidad se entera que ahí se construirá una planta de tratamiento. El requerimiento de área para el sistema uno es de  $636,54 \text{ m}^2$ , para el sistema dos es de  $424,51 \text{ m}^2$ .

#### Acceso a los sistemas de tratamiento

El sistema uno posee seis unidades de lechos de secado de lodos, esto implica mayor utilización de tuberías de conexión, dificultad de acceso al momento de realizar la remoción de lodos. El sistema dos se constituye de dos lagunas de secados de lodos, con acceso interno para la remoción de lodos; por tanto, el acceso es más factible.

**Aspectos operativos y de mantenimiento:** a lo largo de su vida útil, el sistema necesita de una operación y mantenimiento constante, por lo cual hay que evaluar las facilidades que ambos sistemas presentan.

### Número de tareas por realizar

Para el sistema uno, las tareas de operación y mantenimiento se resumen así: diariamente, medición de caudal y verificación de que la tubería distribución (por goteo) esté funcionando en óptimas condiciones. Semanalmente, verificar que no esté obstruida la tubería de ventilación, realizar la cosecha de juncos cada tres meses o cerciorarse de su crecimiento para la respectiva poda.

Para el sistema dos, las tareas de operación y mantenimiento se resumen a lo siguiente: diariamente, medición de caudal y retirar las natas y los sólidos flotantes que se acumulen en las esquinas de las lagunas. Semanalmente, limpiar las orillas de las lagunas, podar el césped que por ahí se encuentre. Semestralmente, medir la profundidad de los lodos, si se llega a pasar de 50 cm, se debe proceder a la extracción de estos.

### Facilidades de evacuación de lodos y disposición final

Para el sistema uno, es necesario retirar los juncos y desmontar la tubería de distribución, sin embargo se contempla hacerlo hasta el tercer año de operación. Para el sistema dos, se contempló dejar un sistema de drenaje que evacue fácilmente el agua residual y así disponer por evaporación el secado de los lodos, en un período de cuatro a seis semanas, para su fácil remoción.

### Generación de olores

En teoría, el sistema uno generará menos olor que el sistema dos, ya que en éste actúan dos procesos: interacción de las plantas emergentes (juncos) y la acción de los microorganismos, en combinación, actúan en la remoción de los contaminantes de los lodos provenientes de fosas sépticas.

### Requerimiento de personal y equipo para limpieza

El sistema uno requerirá mayor personal y equipo para las labores de limpieza ya que se desarrollarán más tareas o actividades para las labores de operación y mantenimiento, descritas anteriormente para cada sistema.

**Aspectos económicos:** finalmente, se evaluó el aspecto económico de los sistemas propuestos de tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas.

Costos de construcción

El costo de construcción de ambas alternativas es presentado en el anexo 3, el costo global de inversión para el sistema uno, es de Q 461920 mientras que para el sistema dos asciende a Q 74603.

Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento han sido calculados con base en las actividades que se van a realizar y el salario de un operador. Se considera que el sistema dos será el más económico pues se realizarán menos actividades.

Con base en esta evaluación se elaboró una matriz; los resultados se presentan en la Tabla XIV, a continuación:

**Tabla XIV** Matriz de evaluación de alternativas

Parámetros evaluados		Sistemas	
		Uno	Dos
<b>Aspectos técnicos</b>	Eficiencia teórica del sistema	1	0
	Frecuencia de remoción de lodos	1	0
	Movimiento de tierra	0	1
	Requerimiento de área	0	1
	Acceso a los sistemas de tratamiento	0	1
<b>Aspectos de operación y mantenimiento</b>	Número de tareas por realizar	0	1
	Facilidades de evacuación de lodos	0	1
	Generación de olores	1	0
	Requerimiento de personal y equipo	0	1
<b>Aspectos económicos</b>	Costos de construcción	0	1
	Costos de operación y mantenimiento	0	1
<b>Total (<math>\Sigma</math>/No. total de parámetros)</b>		<b>0,27</b>	<b>0,73</b>

Como se observa, el sistema dos es el seleccionado para ser implementado, superando al sistema uno en aspectos técnicos, de operación y mantenimiento y aspectos económicos.

#### **6.4. Descripción de la alternativa seleccionada**

La alternativa seleccionada es el sistema dos, que está constituido por dos lagunas facultativas de secado de lodos. Las dimensiones del sistema lagunar son las siguientes:

- Lagunas facultativas: dimensiones: ancho 8,40 m, largo 25,20 m, profundidad 1,50 m, volumen 486,30 m<sup>3</sup>, tiempo de retención de diseño 26 días.

El tiempo de retención total del sistema es de 26 días, se espera una remoción de materia orgánica en el efluente de salida, mayor al 80% (DBO<sub>5</sub> filtrada).

#### **6.5. Diseño y descripción de las unidades de tratamiento**

Una vez seleccionada la alternativa que se va a implementar, se procedió a afinar los detalles constructivos del sistema, ya que se habían definido sólo en el anteproyecto. Se diseñaron unidades de tratamiento adicionales, compuestas por: un canal de rejillas, seguido de un medidor de caudales (vertedero tipo sutro), un digestor anaeróbico de lodos y un patio de secado de lodos. Ver Figura 15, del esquema general de las unidades de tratamiento de lodos sépticos propuestas.

##### **6.5.1. Canal de rejillas**

Para la separación de sólidos gruesos se utilizan rejillas ubicadas transversalmente al flujo. Al pasar el agua, el material grueso queda retenido en el

enrejado. El material debe ser retirado manualmente con un rastrillo y enterrado diariamente. (Oackley, 2005).

Se empleó una hoja electrónica para el diseño del canal de rejas, partiendo del caudal (Q) que ingresará a la planta. El modelo empleado fue desarrollado por el Dr. Stewart Oackley. Para lo anterior, es necesario conocer los valores de caudal máximo ( $Q_{\text{máx}}$ ), caudal promedio ( $Q_{\text{med}}$ ) y caudal mínimo ( $Q_{\text{mín}}$ ) que estarían ingresando a la planta de tratamiento. En el anexo 2, para el diseño de la laguna facultativa de secado de lodos, se diseñó con un caudal de  $18,57 \text{ m}^3/\text{día}$ . Sin embargo, este caudal representa el promedio diario de descarga al sistema de tratamiento. Cuando el camión recolector de lodos provenientes de fosa séptica hace su descarga, ésta es de manera puntual y temporal (ver Figura 16) y es de mayor magnitud que la descarga promedio diaria.

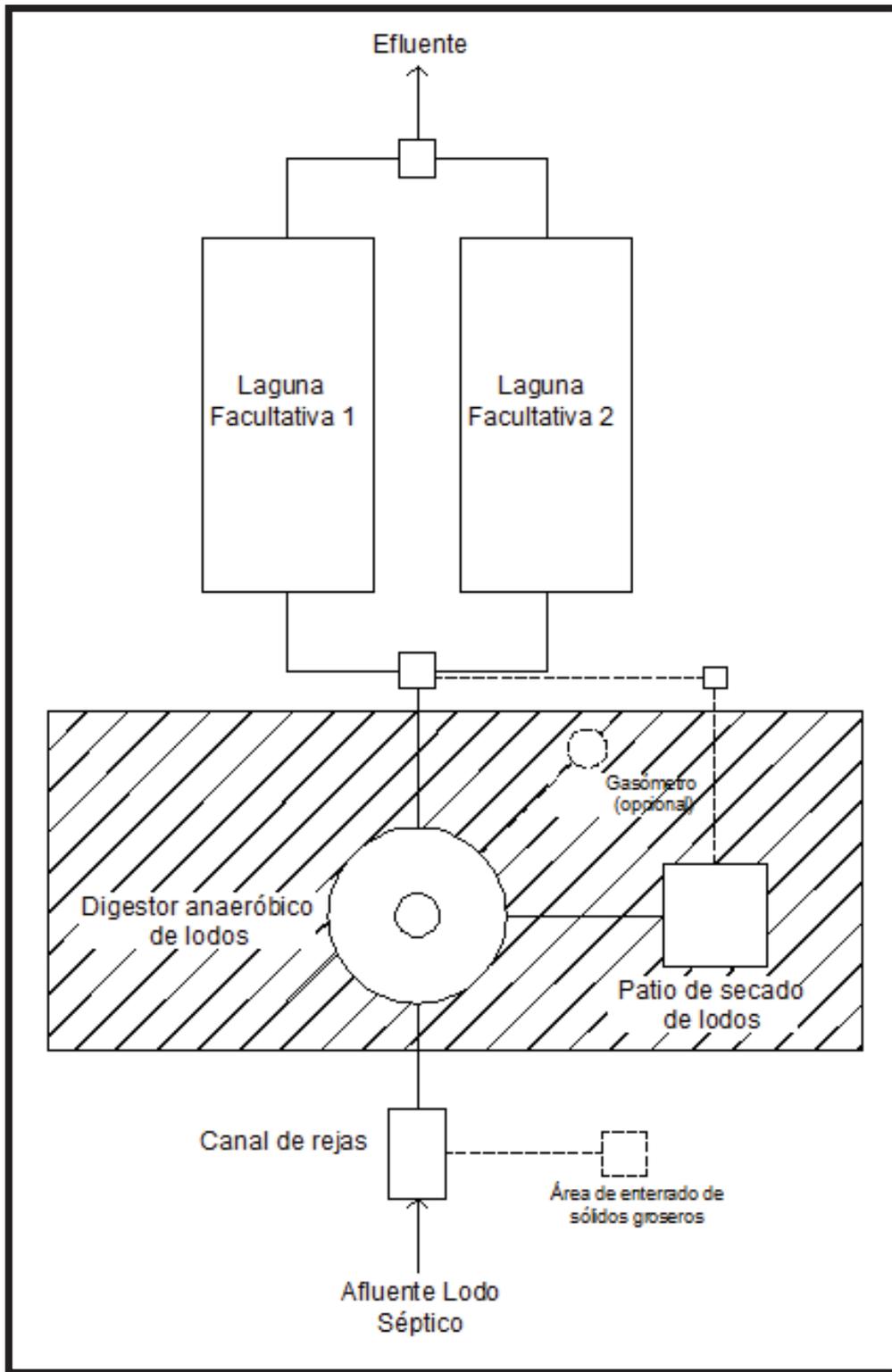


Figura 15 Esquema general del sistema de tratamiento propuesto

La parte achurada corresponde a unidades de tratamiento específicas para las características físicas-químicas encontradas en el presente estudio. Se requerirá un digestor anaeróbico de lodos y un patio de secado para la digestión de lodos (aún crudos) provenientes de fosas sépticas.



**Figura 16** Descarga del líquido proveniente de fosas sépticas.

Por tanto para determinar el  $Q_{\text{máx}}$  se utilizó la fórmula de flujo sobre orificios:

$$Q = (Cd)(Ao)\sqrt{2gH}$$

Donde:

$C_d$ , es el coeficiente de descarga y representa la relación entre el caudal real y el caudal ideal, en esta descarga se utilizó 0.70.

$A_o$ , es el área del orificio, en  $m^2$ .

$g$ , representa la fuerza de gravedad, en  $m^2/s$

$H$ , es la carga sobre eje de orificio, en m

Por tanto el caudal máximo de descarga se determina así:

$$Q = (0,70) \left( \frac{\pi}{4} 0,15^2 \right) \sqrt{2(9,81)(1,40)} = 0,06483 \frac{m^3}{s}$$

El Qmed se determinó en campo, al efectuar la relación entre la capacidad volumétrica del camión y el tiempo que le tomó efectuar la descarga al cuerpo receptor. Así, el camión con una capacidad de 8 m<sup>3</sup> se vació en 9,05 minutos. Por tanto Qmed= 0,014733 m<sup>3</sup>/s.

El Qmín fue difícil calcularlo, por no disponer del equipo necesario para medir el caudal del flujo cuando éste estaba disminuyendo; se presentó cuando el camión recolector de lodos provenientes de fosas sépticas se aproximaba a su completo vaciado. Se estima Qmín=0,00833 m<sup>3</sup>/s.

El largo del canal de aproximación se estimó en 2,00 m, con un ancho de 0,42 m. y una profundidad de 0,50 m (ver Tabla XV). El ancho y abertura de las barras de la rejilla serán de 10 y 50 mm respectivamente. El espesor de barra será de 25 mm. En términos constructivos, se utilizará una platina de 1" x 1/2" espaciadas a cada 5 cm. Las platinas (del canal de rejillas) se inclinarán a 45° para facilitar la remoción de material grosero, se instalará además una plataforma de drenaje en la parte superior para poder drenar estos sólidos. Se aplicará dos manos de pintura anticorrosiva de diferente color, a las platinas, para evitar la corrosión.

Con respecto a los desechos gruesos que se remuevan en el canal de rejillas, sin duda están muy contaminados con patógenos; son excesivamente nocivos, con olores y apariencia desagradables. Por estas razones se recomienda un área de enterrado de 4 m<sup>2</sup> y una profundidad variable, con el propósito de enterrar estos desechos y finalmente disponerlos de una manera sanitariamente segura.

Tabla XV Hoja de cálculo de diseño del sistema de pre tratamiento

<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE PRE TRATAMIENTO</b>
<b>CANAL DE REJAS</b>

DATOS DE DISEÑO			
1	Caudal máximo de diseño (Qmáx)	0,06483	m <sup>3</sup> /s
2	Caudal promedio de diseño (Qmed)	0,01473	m <sup>3</sup> /s
3	Caudal mínimo de diseño (Qmín)	0,00833	m <sup>3</sup> /s
4	Ancho de las barras de las rejillas (ab)	10,00	mm
5	Abertura de las barras de la rejilla (eb)	50,00	mm
6	Velocidad máxima a través de la rejilla (Vr)	0,60	m/s

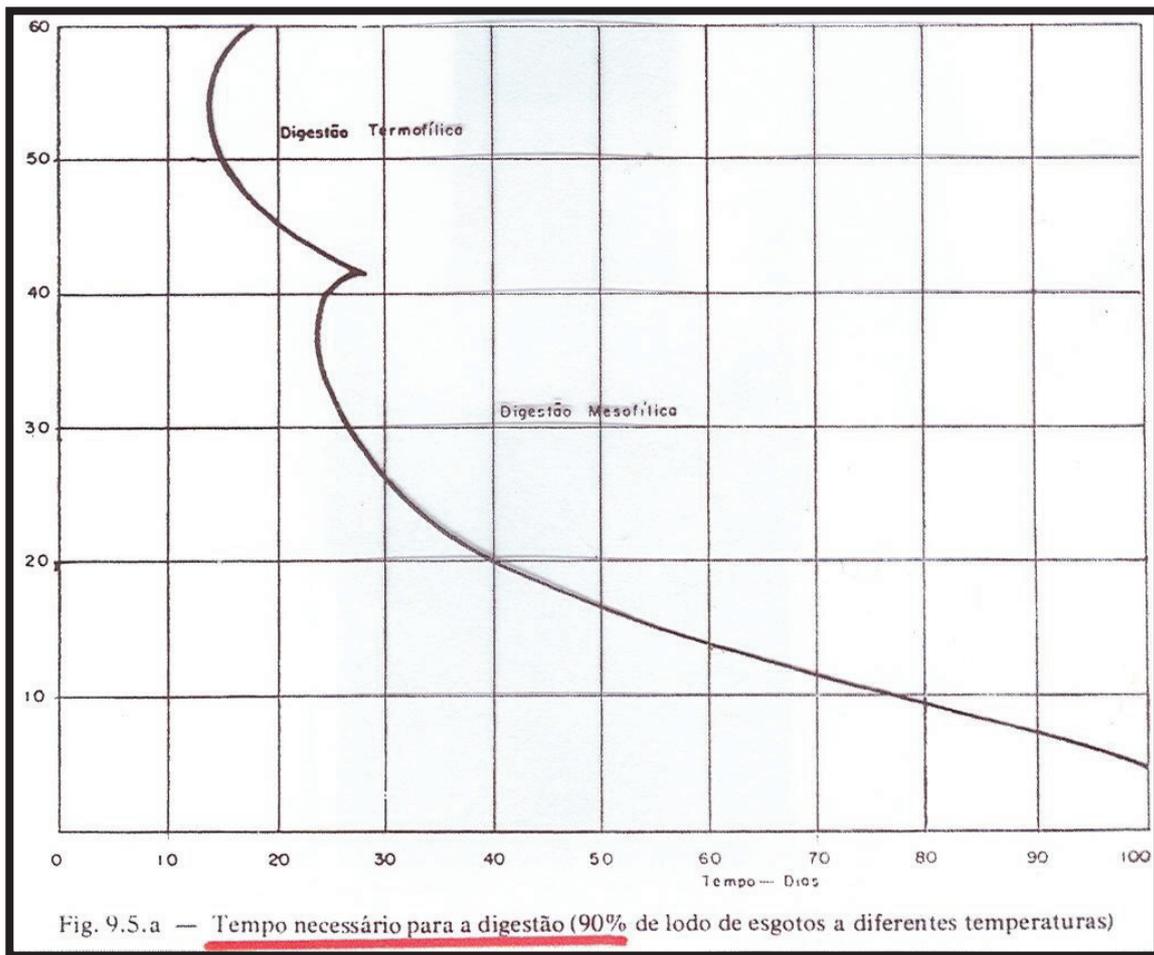
DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PRE TRATAMIENTO				
N°	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
1	Profundidad máxima de agua en el canal del desarenador (Pmáx)	$P_{máx} = H_{máx} - Z$	0,31	m
2	Relación Vmín / Vmáx (Cv)	$C_v = 2.6(C_r^{0.5})(1 - C_r)$	0,81	
3	Ancho de canal de aproximación a la rejilla (Acanal)	$A_{canal} = (Q_{máx} / 0,6P_{máx}) * (ab + eb) / eb$	0,42	m
4	Velocidad en el canal de aproximación (Va)	$V_a = 0.6 / ((ab + eb) / eb)$	0,50	m/s
5	Pérdidas de carga en las rejillas	$H_f = (1/0.7) * ((V_r^2 - V_a^2) / 2g)$	0,01	m

### 6.5.2. Digestor anaeróbico de lodos

Debido a que se encontró que en promedio, los sólidos provenientes de fosas sépticas no se encuentran totalmente digeridos (62,94% de ST), es primordialmente la utilización de un digestor anaeróbico convencional. Estos son tanques cerrados utilizados generalmente para tratar los sustratos concentrados con alto contenido de sólidos de origen orgánico, los cuales se degradan por la

acción de microorganismos que los transforman en subproductos útiles como el biogás y el bioabono. Este proceso de degradación se realiza con tiempos de retención superiores a veinte días, que dependerá de la temperatura del lugar donde estará ubicado el digester anaeróbico.

La temperatura media anual de la ciudad de Guatemala, del período comprendido de 1990 a 2007, fue de 19,54 °C. Mientras que la temperatura mínima anual del período comprendido de 1990 a 2006, fue de 15,34 °C. (INSIVUMEH, 2010). Así, el tiempo de retención necesaria (ver Figura 17) para la digestión del lodo será al menos de cuarenta y cinco días.



**Figura 17** Curva de digestión de lodos a diferentes temperaturas.

Para obtener el volumen del digestor anaeróbico de lodos se consideraron los siguientes parámetros de diseño (ver Tabla XVI). Las ecuaciones desarrolladas fueron propuestas por Oackley (2005).

**Tabla XVI** Parámetros de diseño para un digestor anaeróbico

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> /día	18.57
Temperatura (T)	°C	22.91
DBO <sub>5</sub>	mg/l	754.00
SST	mg/l	12197.00
Tiempo de retención $\theta_c$	días	45.00
ST en lodo primario	%	6.51

1. Calcular la masa y volumen de lodos primarios producidos por día

a) Masa de sólidos totales

$$M_{ST,P} = 0,001(Q)(SST)$$

$$M_{ST,P} = 0,001(18,57)(12197) = 226,49 \text{ kg/día}$$

b) Masa de sólidos volátiles

$$M_{SV,P} = 0,65M_{ST,P} = 0,65(226,49) = 147,22 \text{ kg/día}$$

c) Volumen de lodos producidos por día

$$v_{L,P} = \frac{M_{ST,P}}{(\rho_{H2O})(GE_L)(ST)}$$

$$v_{L,P} = \frac{226,49}{(1000)(1,01)(0,0651)} = 3,44 \frac{m^3}{día}$$

2. Calcular el volumen del digestor

$$V_D = (\theta_c)(v_{L,P})$$

$$V_D = (45 \text{ días}) \left( 3,44 \frac{m^3}{\text{día}} \right) = 154,80 m^3$$

3. Verificar la carga orgánica volumétrica

$$C_{O,V} = \frac{M_{SV,P}}{V_D}$$

$$C_{O,V} = \frac{147,22}{154,80} = 0,95$$

No está dentro del rango permisible de 0,3—0,8 kg SV/m<sup>3</sup>-día. Por tanto se redimensiona el volumen del digester a 195 m<sup>3</sup>. Este cambio produce un incremento en el tiempo de retención de 45 a 56 días, lo cual es favorable porque produce un lodo con un mayor grado de digestión.

$$C_{O,V} = \frac{147,22}{195,00} = 0,75 \text{ kg SV/m}^3 - \text{día}$$

4. Calcular la masa y volumen de lodos digeridos producidos por día

a) Masa de lodos digeridos

$$M_{L,D} = 0,000675(Q)(SST)$$

$$M_{L,D} = 0,000675(18,57)(12197) = 152,88 \frac{kg}{\text{día}}$$

b) Volumen de lodos digeridos

$$v_{L,D} = \frac{M_{L,D}}{(\rho_{H_2O})(GE_L)(ST)}$$

$$v_{L,D} = \frac{152,88}{(1000)(1,01)(0,0651)} = 2,32 \frac{m^3}{\text{día}}$$

5. Estimar la producción de metano

A 35 °C y 1 atm:

$$CH_4 = \frac{0,75 \text{ m}^3 CH_4}{\text{kg SV removida}} [0,5 M_{SV,P}]$$

$$CH_4 = \frac{0,75 \text{ m}^3 CH_4}{\text{kg SV removida}} [0,5 (147,22)] = 55,20 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La ventaja de utilizar un tanque digestor anaeróbico de lodos, es que reducirá en un 60%, aproximadamente, los sólidos suspendidos totales del líquido séptico. Así, la frecuencia de remoción de los lodos de las lagunas facultativas ya no será de solamente cuatro meses, sino que cada año y medio se tendrá que realizar esta labor, logrando así, disminuir los costos de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.

#### **6.5.2.1. Forma y dimensiones del digestor anaeróbico**

Se propone utilizar un digestor convencional tipo cúpula fija. La geometría del tanque biodigestor está compuesta por tres zonas básicas (Figura 18).

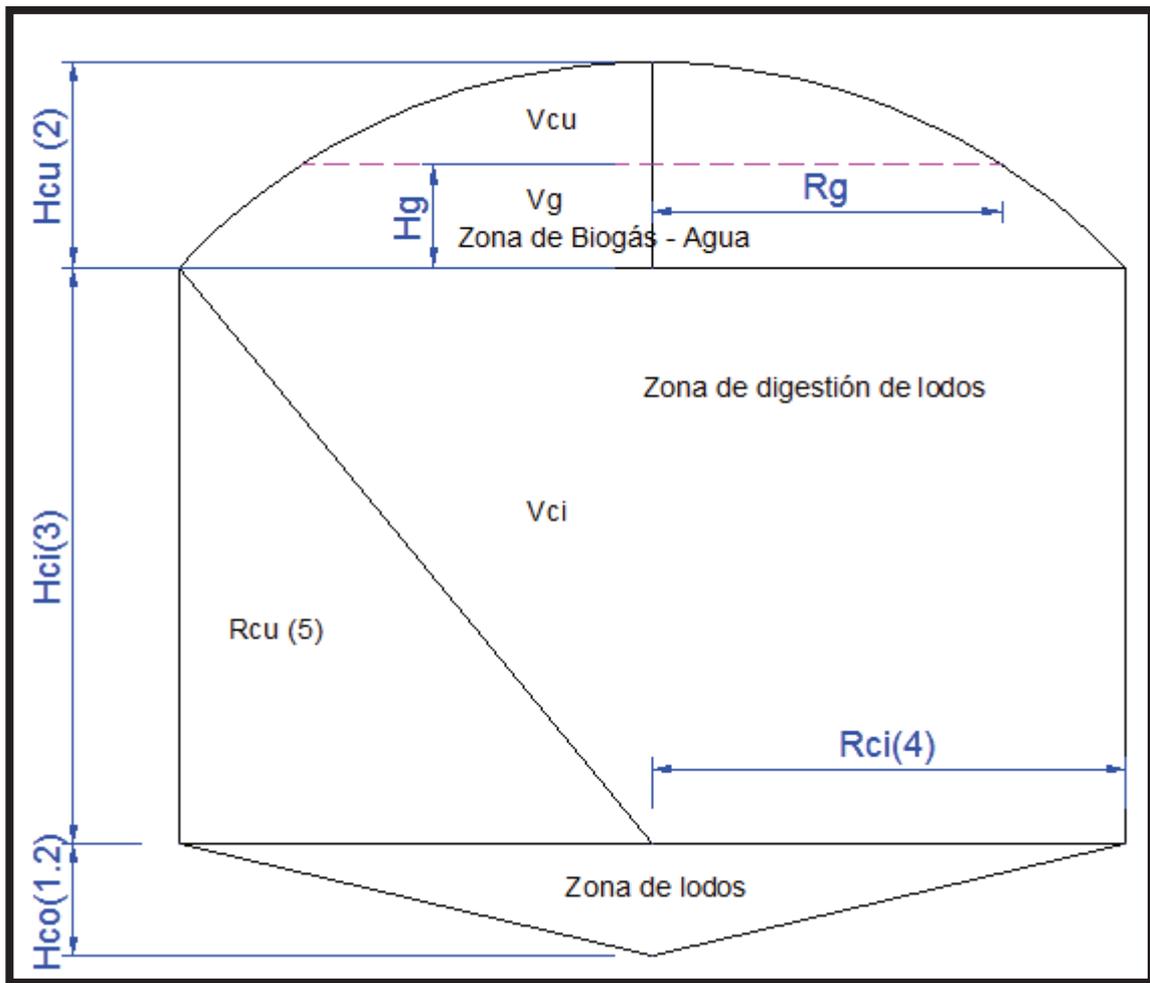


Figura 18 Esquema geométrico del tanque digestor anaeróbico

### Zona de lodos

Constituida por un cono en la parte inferior donde se depositan los lodos.

### Zona de digestión de lodos

Representada por un cilindro en la parte intermedia donde se realiza el proceso de digestión de lodos.

### Zona de biogás-agua

Formada por una cúpula en la parte superior donde se acumula el agua y el biogás. En la parte más alta de la cúpula se presenta el sello de agua con la caja de salida y tapas respectivas.

Teniendo bien definidas las zonas del tanque digestor anaeróbico, con sus diferentes dimensiones, se han formulado relaciones geométricas que proporcionan un cálculo sencillo de las mismas, en donde la unidad (u), representa la cantidad común en metros que tienen las diferentes dimensiones del tanque. Al observar la Figura 18, el número encerrado en el paréntesis representa la proporción de cada dimensión respecto a la unidad (u), cada una de éstas se indica en la Tabla XVII.

**Tabla XVII** Relaciones de dimensión del tanque digestor anaeróbico

Dimensión	Proporción
Altura de la cúpula (Hcu)	2u
Altura del cilindro (Hci)	3u
Altura del cono (Hco)	1,2u
Radio de cúpula (Rcu)	5u
Radio de cilindro (Rci)	4u

Los volúmenes de cada zona del tanque digestor anaeróbico se representan en la Tabla XVIII.

**Tabla XVIII** Ecuaciones de los volúmenes del digestor anaeróbico

Volumen (m <sup>3</sup> )	Ecuación
Volumen del cono (Vco)	$V_{co} = \pi(R_{ci})^2(H_{co}/3)$ (1)
Volumen del cilindro (Vci)	$V_{ci} = \pi(R_{ci})^2(H_{ci})$ (2)
Volumen de la cúpula (Vcu)	$V_{cu} = \pi(H_{cu})^2(R_{cu} - H_{cu}/3)$ (3)

El volumen del tanque digestor anaeróbico se obtiene sumando las ecuaciones 1, 2 y 3 de los volúmenes anteriores:

$$V_b = V_{co} + V_{ci} + V_{cu} \quad (4)$$

Sustituyendo las ecuaciones 1, 2 y 3 con las dimensiones en términos del radio del cilindro, en la ecuación 4; al despejar se obtiene la ecuación 5:

$$Rci = \sqrt[3]{\left(\frac{240}{269}\right) \left(\frac{Vb}{\pi}\right)} \quad (5)$$

$$Rci = \sqrt[3]{\left(\frac{240}{269}\right) \left(\frac{195}{\pi}\right)} = 3.81 \text{ m}$$

En la Tabla XIX se registran los valores obtenidos en cada una de las dimensiones de las zonas del tanque de digestión y en la Tabla XX, los volúmenes respectivos:

**Tabla XIX** Ecuaciones de los volúmenes del digestor anaeróbico

Volumen de Digestor "Vb" (m³)	Radio de cúpula "Rcu" (m)	Altura de cúpula "Hcu" (m)	Radio de cilindro "Rci" (m)	Altura de cilindro "Hci" (m)	Altura de cono "Hco" (m)	Unidad "u" (m)
195,00	4,76	1,91	3,81	2,86	1,14	0,95

**Tabla XX** Ecuaciones de los volúmenes del digestor anaeróbico

Zona	Volumen (m³)
Cilindro "Vci"	130,31
Cúpula "Vcu"	47,06
Cono "Vco"	17,38
<b>Total</b>	<b>194,75</b>

### 6.5.2.2. Volumen de gasómetro

En la Figura 18 se indica la zona de la cúpula donde se acumula el biogás; con la ecuación 6 se puede determinar el valor del radio (Rg) y la altura "Hg"; y con la ecuación 7 se encuentra el volumen de gas "Vg" que se relaciona con dichas dimensiones:

$$Rg = \frac{1}{2} \sqrt{8 * (Hcu - Hg) \left[ Rcu - \frac{(Hcu - Hg)}{2} \right]} \quad (6)$$

$$Vg = \frac{\pi}{5} (Hg)[3Rg^2 + 3(Rci^2) + Hg^2] \quad (7)$$

Considerando una altura de gas Hg=0,70 m y los otros valores antes calculados se obtienen los siguientes valores de “Rg” y “Vg”, 3,17 y 32,62 m respectivamente.

### 6.5.3. Patio de secado de lodos

Previo al diseño de las áreas de secado, se debe calcular la masa y el volumen de lodos estabilizados, por año. Adoptar una profundidad de aplicación de lodos y estimar el número de aplicaciones por año, teniendo en cuenta el período de aplicación, el período de secado según sea el clima de exposición, el período de remoción del lodo seco y el período de preparación y mantenimiento.

#### Consideraciones adoptadas

- a) Solo se secarán lodos durante la época seca, que comprende los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y primera quincena de mayo.
- b) El patio de secado será inundado con 20 a 30 cm de altura de lodos en cada vaciada, Metcalf & Eddy (1996).
- c) Se consideran seis días de tiempo de secado, más un día de remoción de lodo y preparación del siguiente vaciado, Montoya (1981).

El número de vaciadas (de lodo provenientes del digestor anaeróbico) por año se calcula así:

$$\frac{\text{No. de vaciadas}}{\text{año}} = \frac{6,5 \text{ meses} \left( \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \right)}{\frac{7 \text{ días}}{\text{vaciada}}} = 28$$

En el diseño del tanque digestor anaeróbico de lodos, se determinó que el volumen de lodo digerido es de 2,32 m<sup>3</sup>/día que equivale a 846,80 m<sup>3</sup>/año.

$$\text{Área de secado}(m^2) = \frac{846,80 \frac{m^3}{\text{año}}}{28 \frac{\text{vaciadas}}{\text{año}} \left( \frac{0,20 m}{\text{vaciada}} \right)} = 151,21 m^2$$

En relación con los detalles del sistema, el área superficial de secado de lodos será cuadrada, con dimensiones de 12,50 m x 12,50 m, equivalente a un área efectiva de 156,25 m<sup>2</sup>, la altura será de 1,20 m. El patio de secado de lodos será construido de paredes de bloque reforzado de dimensiones 6"x8x16". En el fondo de la unidad se instalará una tubería de drenaje de 3" de diámetro, perforada en su parte superior, con agujeros de 3/8" de diámetro, espaciados a cada 10 cm. La pendiente de la tubería será del 2%. La tubería se encontrará insertada, en los lados, por taludes de concreto cuya pendiente es de 1,5% hacia la parte central de la tubería. Sobre la tubería se colocó una capa de 30 cm de espesor de piedrín/grava, de 1/2" y sobre ésta, un estrato de 45 cm de arena pómez con un tamaño efectivo de 0,42 mm y coeficiente de uniformidad de 3,2.

Sobre el estrato de arena pómez, se colocó en toda el área, como medio de soporte, una capa de 3 cm formada por ladrillos 28 cm por lado y con una separación entre sí de aproximadamente 3 cm, la cual se llenará de arena pómez.

## CONCLUSIONES

1. En el presente estudio se logró verificar la hipótesis referente a que los valores de la caracterización del lodo proveniente de fosa séptica, dieron como resultado proponer un tratamiento biológico de los mismos. Se encontraron concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno y fósforo total), la temperatura y el potencial de hidrógeno promedio son óptimos para el desarrollo de los microorganismos presentes, y la presencia de metales pesados (arsénico, cadmio, cromo total, mercurio y plomo) están muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de la República de Guatemala: “REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS”.
2. Se comprobó la alta variabilidad en las características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos provenientes de fosas sépticas domésticas. Con el valor promedio encontrado de (62,94% de ST) se puede concluir que los lodos no se encuentran totalmente digeridos, clasificándose como lodo crudo al encontrarse dentro del intervalo de 60-80% de ST. Los valores encontrados acerca de la capacidad fertilizante de los lodos provenientes de fosas séptica son relativamente bajos con una relación promedio NPK (nitrógeno, fósforo y potasio, porcentaje en peso) de 2,39: 0,60: 0,22 respectivamente.

3. Según la caracterización física, química y microbiológica realizada a los lodos provenientes de fosas sépticas, se estableció que los métodos idóneos, económicos y técnicamente factibles de acuerdo con el medio, para el tratamiento y la disposición final de lodos son: 1) Lechos de secado cultivados (humedales artificiales de flujo vertical), 2) Lagunas de secado de lodos. El costo global de construcción para el primer sistema, es de Q 461920; mientras que para el segundo asciende a Q74603.
  
4. Las unidades de tratamiento finalmente propuestas son: canal de rejillas, tanque digestor anaeróbico de lodos, para estabilizar el lodo aún crudo proveniente de fosas sépticas domésticas, patio de secado de lodos, y dos lagunas facultativas funcionando en paralelo que reciben la fracción líquida del tanque digestor y del patio de secado de lodos.  
El tiempo de retención total del sistema será de 82 días, 56 días correspondiente al tanque digestor de lodos y 26 días de retención para las lagunas facultativas.

## RECOMENDACIONES

1. Cuando se proyecta una planta de tratamiento de aguas residuales deben proyectarse también instalaciones para el tratamiento previo de la descarga de camiones recolectores de lodos provenientes de fosas sépticas. De esta manera se desvanece la posibilidad de que se produzca una sobrecarga de materia orgánica en la planta de tratamiento.
2. Cuando se construya y comience a funcionar el sistema de lodos sépticos propuesto en la presente investigación, será necesario caracterizar física, química y microbiológicamente el efluente de la laguna de secado de lodos, y así poder dimensionar la laguna de maduración, en caso de ser necesaria, y para los fines que el interesado estime conveniente.
3. Para futuras caracterizaciones del lodo proveniente de fosas sépticas, si el afluente recibido por estos sistemas de tratamiento primario, es estrictamente doméstico, las concentraciones de metales pesados serán bajas y por ende estarán muy por debajo de los límites máximos permisibles de la normativa nacional. Por tanto se recomienda no enfocar todos los recursos económicos y logísticos en este parámetro.
4. Los lodos biológicos digeridos del biodigestor y de la laguna de secado de lodos, se colocarán en pilas de sección transversal trapezoidal, de dos metros de profundidad con el ancho de la base de 3 m y el ancho de la capa superior de 1 m. Antes de trasladarlos para cualquier uso o disposición diferente, será de vital importancia sanitaria practicar análisis para detectar huevos vivos de helmintos.
5. Será necesario el uso de un digestor anaeróbico de lodos, sólo si los lodos provenientes de fosas sépticas no se encontrasen digeridos aún, para así evitar malos olores y la proliferación de vectores.

## BIBLIOGRAFÍA

Calvo Gutiérrez, Jorge Alberto. Propuesta para el tratamiento y utilización de las aguas residuales, provenientes del rastro de porcinos del municipio Santa Catarina Pinula de Guatemala. Tesis de maestría en ciencias. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.1997. 95 pp.

Cooperación Técnica República Federal de Alemania. **Manual de disposición de aguas residuales**. Tomo II. Perú: Editorial CEPIS. S. A. 1058 pp.

Crites, Ron y Tchobanoglous George. **Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones**. Colombia: Editorial McGraw-Hill, 2000. 739 pp.

Metcalf y Eddy. **Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización**. 3 ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1996. 1459 pp.

Montoya Palencia, Miguel Omar. Desecado de lodos después de digestión anaeróbica, empleando patios de grava y arena pómez como material filtrante. Tesis de maestría en ciencias. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.1981.

Oakley, Stewart. **Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad**. s.l.: s.e. 2005. 255 pp.

Vega Aguilar, Teodoro Alberto. Evaluación de eficiencia de tanques plásticos de resina de polietileno, modificados para el tratamiento de aguas residuales domésticas e implementación de tratamiento de lodo. Tesis de maestría en ciencias. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de

Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos 2006. 102 pp.

Castellanos Duarte, RA; Romero Cristales, MA. Rehabilitación del sistema lagunar de la planta piloto "Ingeniero Arturo Pazos" para su aprovechamiento con fines de riego. Tesis de maestría en ciencias. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. 2004. 96 pp.

Ingallinela, Ana María, et. al. Co treating septage and wastewater in ponds, results of field research conducted at Alcorta, Argentina. Sanitary Engineering Center. University of Rosario, Argentina. 2000.

Koottatep, Thammarat, et. al. Results of the 2 year observations and lessons from operating experience of the AIT constructed wetlands. Asian Institute of Technology (AIT), Bangkok. Thailand. 2001

Thammarat Koottatep, et. al. Preliminary guidelines for design and operation of constructed wetlands treating septage. Asian Institute of Technology (AIT), Bangkok. Thailand. 2000

Strauss Martin, et. al. On site sanitation: when the pits are full, planning for resource protection in faecal sludge treatment. IWA publishing house and WHO water series. ISBN No. 3-932816-34-X. 2000.

# **ANEXOS**

# **Anexo 1**

---

**Resultados de pruebas de laboratorio**

---



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)**

Estudio, Caracterización y Tratamiento de Lodos provenientes de Fosas Sépticas  
 Responsable de análisis: Ing. Carlos René Galindo  
 Resultados de Análisis Físicos – Químicos y Microbiológicos

Parámetro	Unidad	1	2	3	4	5	6
Temperatura	°C	24,00	22,00	22,00	23,00	23,00	24,00
Potencial de hidrógeno	Unidad pH	7,21	5,75	7,25	7,35	6,93	7,33
DBOs	mg/l	695,00	903,00				
DQO	mg/l	2614,00	3650,00				
Nitrógeno total	mg/l			6,00	31,60	0,20	13,00
Fósforo total	mg/l			60,00	125,00	34,00	162,50
Sólidos totales	mg/l		62952,00	32794,00	54256,00	2111,00	61101,00
Sólidos fijos	mg/l		24129,00	14614,00	19997,00	106,00	13275,00
Sólidos volátiles	% de ST		0,62	0,55	0,63	0,95	0,78
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1,60E+08		5,79E+07	9,14E+07	9,80E+08	8,60E+11
Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1,60E+08		1,46E+07	8,47E+07	6,02E+08	4,10E+11

Parámetro	Unidad	7	8	9	10	11	12
Temperatura	°C	22,00	24,00	25,00	21,00	22,00	23,00
Potencial de hidrógeno	Unidad pH	6,85	6,52	7,26	7,71	6,49	6,61
Nitrógeno total	mg/l	49,00	20,50	150,00	185,00	31,50	7,50
Fósforo total	mg/l	380,00	120,00	365,00	945,00	435,00	60,00
Sólidos totales	mg/l	137933,00	12197,00	90092,00	113410,00	20078,00	6704,00
Sólidos fijos	mg/l	79662,00	1632,00	40588,00	71159,00	8490,00	2682,00
Sólidos volátiles	% de ST	0,42	0,87	0,55	0,37	0,58	0,60
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1,66E+08	2,42E+07	4,72E+06	2,00E+08	1,00E+08	2,85E+06
Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	3,23E+07	2,42E+07	2,14E+06	1,00E+08	1,00E+08	1,48E+06

*[Handwritten Signature]*

**MSc. Ing. Zenón Much Santos**  
**Jefe de Laboratorio**

**Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria**  
**"Dra. Alba Tabarini Molina"**





**INFORME DE ANÁLISIS  
MUESTRAS PARTICULARES**

UGCF096

Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 2

No. del LNS:	AP09-0280	Remitente:	INGA. CAROLINA HURTARTE
Nombre del Producto:	LODO	Procedencia:	MAPRECO SOCIEDAD
Tipo de Muestra:	LODO		ANONIMA
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Marca:	-----
Nombre del Fabricante:	-----	Envase:	PLASTICO
Dirección del Fabricante:	-----	Lote:	-----
Nombre del Distribuidor:	-----	Fecha de Vencimiento:	-----
Dirección del Distribuidor:	-----	Fecha de Ingreso:	24/11/2009
		Fecha de Egreso:	15/12/2009

**Resultado de Análisis**

PARAMETRO	RESULTADO*
Arsénico <sup>(2)</sup>	0.064 mg/kg
Cadmio <sup>(2)</sup>	0.01 mg/kg
Cromo Total <sup>(3)</sup>	< 0.005 mg/kg
Mercurio <sup>(1)</sup>	0.007 mg/kg
Plomo <sup>(2)</sup>	0.384 mg/kg

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

  
Lidia María del Carmen Castillo  
Supervisora



**Método:**

Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 20th. Edition 1998

<sup>(1)</sup> Perkin Elmer Instruments. Flow Injection Mercury / Hydride Analyses.

<sup>(2)</sup> Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

<sup>(3)</sup> Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test. 1.14552.0001

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

\* EXPRESADO EN BASE SECA.

Analista/Supervisor CCh,CG,OCV/MCC	Código Laboratorio CT30-CAS/132
---------------------------------------	------------------------------------

LAR

CONTINÚA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM.22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.

PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011

E-mail: laboratorio\_nacional\_desalud@yahoo.com



**INFORME DE ANÁLISIS  
MUESTRAS PARTICULARES**

UGCF096

Rev.1 (1 de 1)

Página 2 de 2

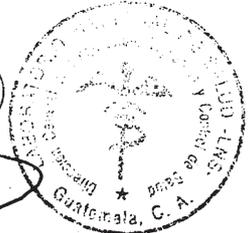
No. del LNS:	AP09-0281	Remitente:	INGA. CAROLINA HURTARTE
Nombre del Producto:	LODO	Procedencia:	MAPRECO SOCIEDAD ANONIMA
Tipo de Muestra:	LODO	Marca:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Envase:	PLASTICO
Nombre del Fabricante:	-----	Lote:	-----
Dirección del Fabricante:	-----	Fecha de Vencimiento:	-----
Nombre del Distribuidor:	-----	Fecha de Ingreso:	26/11/2009
Dirección del Distribuidor:	-----	Fecha de Egreso:	15/12/2009

**Resultado de Análisis**

PARAMETRO	RESULTADO*
Arsénico <sup>(2)</sup>	0.013 mg/kg
Cadmio <sup>(2)</sup>	0.001 mg/kg
Cromo Total <sup>(3)</sup>	< 0.005 mg/kg
Mercurio <sup>(1)</sup>	< 0.001 mg/kg
Plomo <sup>(2)</sup>	0.033 mg/kg

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

  
Licda. María del Carmen Castillo  
Supervisora



**Método:**

Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 20th. Edition 1998

- <sup>(1)</sup> Perkin Elmer Instruments. Flow Injection Mercury / Hydride Analyses.
- <sup>(2)</sup> Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- <sup>(3)</sup> Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test. 1.14552.0001

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

\* EXPRESADO EN BASE SECA.

Analista/Supervisor CCh,CG,OCV/MCC	Código Laboratorio CT30-CAS/133
---------------------------------------	------------------------------------

LAR

**ÚLTIMA LÍNEA**

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.



**INFORME DE ANÁLISIS  
MUESTRAS PARTICULARES**

UGCF096

Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

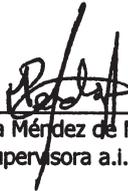
No. del LNS: AP10-0029  
Nombre del Producto: LODO  
Tipo de Muestra: LODO  
Condición de la Muestra: APROPIADA  
Nombre del Fabricante: -----  
Dirección del Fabricante: -----  
Nombre del Distribuidor: -----  
Dirección del Distribuidor: -----

Remitente: ING. CARLOS RENÉ GALINDO  
Procedencia: MAPRECO, S.A.  
PROQUIGUA DE GUATEMALA  
MIXCO NORTE  
Marca: -----  
Envase: PLASTICO  
Lote: -----  
Fecha de Vencimiento: -----  
Fecha de Ingreso: 27/01/2010  
Fecha de Egreso: 01/03/2010

**Resultado de Análisis**

ANALISIS	RESULTADO*
ARSÉNICO <sup>(2,4,5)</sup> :	6.94 mg/kg
CADMIO <sup>(2,4,5)</sup> :	0.11 mg/kg
CROMO TOTAL <sup>(3,4)</sup> :	0.09 mg/kg
MERCURIO <sup>(1,4,5)</sup> :	0.20 mg/kg
PLOMO <sup>(2,4,5)</sup> :	23.82 mg/kg

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

  
Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
Supervisora a.i.



**Método:**

- (1) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition 1998. 3112 B. Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method.
- (2) Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- (3) Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test 1.14552.0001
- (4) Mars xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
- (5) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition 1998.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

\* Expresado en base seca.

Analista/Supervisor CCh,RT,HF,ERM,CG/MdeM	Código Laboratorio CT30-CAS/0194
--	-------------------------------------

AdeD

**ÚLTIMA LÍNEA**

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.



**INFORME DE ANÁLISIS  
MUESTRAS PARTICULARES**

UGCF096

Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS:	AP10-0030	Remitente:	ING. CARLOS RENÉ GALINDO
Nombre del Producto:	LODO	Procedencia:	MAPRECO, S.A. MX 1 CASA DE HABITACIÓN "L10B" KM. 12.5 CARRETERA A EL SALVADOR CONDOMINIO "EL SOCORRO"
Tipo de Muestra:	LODO	Marca:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Envase:	PLASTICO
Nombre del Fabricante:	-----	Lote:	-----
Dirección del Fabricante:	-----	Fecha de Vencimiento:	-----
Nombre del Distribuidor:	-----	Fecha de Ingreso:	28/01/2010
Dirección del Distribuidor:	-----	Fecha de Egreso:	01/03/2010

**Resultado de Análisis**

ANALISIS	RESULTADO*
ARSÉNICO <sup>(2,4,5)</sup> :	8.57 mg/kg
CADMIO <sup>(2,4,5)</sup> :	0.28 mg/kg
CROMO TOTAL <sup>(3,4)</sup> :	0.110 mg/kg
MERCURIO <sup>(1,4,5)</sup> :	0.302 mg/kg
PLOMO <sup>(2,4,5)</sup> :	23.31 mg/kg

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

  
Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
Supervisora a.i.



**Método:**

- (1) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition 1998. 3112 B. Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method.
- (2) Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- (3) Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test 1.14552.0001
- (4) Mars xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
- (5) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition 1998.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

\* Expresado en base seca.

Analista/Supervisor CCh,RT,HF,ERM,CG/MdeM	Código Laboratorio CT30-CAS/0195
--	-------------------------------------

AdeD

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.



**INFORME DE ANÁLISIS  
MUESTRAS PARTICULARES**

UGCF096

Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: AP10-0032  
Nombre del Producto: LODO  
Tipo de Muestra: LODO  
Condición de la Muestra: APROPIADA  
Nombre del Fabricante: -----  
Dirección del Fabricante: -----  
Nombre del Distribuidor: -----  
Dirección del Distribuidor: -----

Remitente: ING. CARLOS RENÉ GALINDO  
Procedencia: MAPRECO, S.A.  
MX 2 CASA DE HABITACIÓN  
"L10C" KM. 12.5 CARRETERA  
A EL SALVADOR CONDOMINIO  
"EL SOCORRO"  
Marca: -----  
Envase: PLASTICO  
Lote: -----  
Fecha de Vencimiento: -----  
Fecha de Ingreso: 28/01/2010  
Fecha de Egreso: 01/03/2010

**Resultado de Análisis**

ANALISIS	RESULTADO*
ARSÉNICO <sup>(2,4,5)</sup> :	10.03 mg/kg
CADMIO <sup>(2,4,5)</sup> :	0.17 mg/kg
CROMO TOTAL <sup>(3,4)</sup> :	0.040 mg/kg
MERCURIO <sup>(1,4,5)</sup> :	0.36 mg/kg
PLOMO <sup>(2,4,5)</sup> :	29.89 mg/kg

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
Supervisora a.i.



**Método:**

- (1) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition 1998. 3112 B. Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method.
- (2) Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- (3) Método Spectroquant Merck. Chromate Cell Test 1.14552.0001
- (4) Mars xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
- (5) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition 1998.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

\* Expresado en base seca.

Analista/Supervisor CCh,RT,HF,ERM,CG/MdeM	Código Laboratorio CT30-CAS/0196
--	-------------------------------------

AdeD

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



**INTERESADO: CARLOS GALINDO**  
**PROCEDENCIA: DIVERSAS EMPRESAS, MAPRECO SOCIEDAD ANÓNIMA**  
**FECHA DE INGRESO: 28/1/2010**

**ANALISIS DE LODOS DE FOSAS SEPTICAS**

IDENTIFICACION	%		
	N	P	K
M-1	1.09	0.72	0.14
M-2	2.64	0.83	0.75
M-3	1.68	0.51	0.17





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



**INTERESADO: CARLOS GALINDO**  
**PROCEDENCIA: SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA.**  
**FECHA DE INGRESO: 5/2/2010**

**ANALISIS DE LODOS DE FOSAS SEPTICAS**

IDENTIFICACION	%		
	N	P	K
(M-4) K-P TEXTIL S.A.	3.25	0.77	0.12





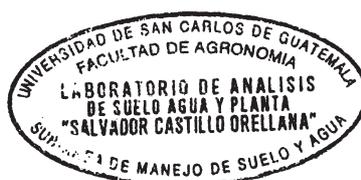
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



**INTERESADO: CARLOS GALINDO**  
**PROCEDENCIA: PALIN ESCUINTLA**  
**FECHA DE INGRESO: 12/2/2010**

**ANALISIS DE LODOS DE FOSAS SEPTICAS**

IDENTIFICACION	%		
	N	P	K
INDRUSTRIA FRISA	1.59	0.23	0.12





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



**INTERESADO: CARLOS GALINDO**  
**PROCEDENCIA: DIVERSAS EMPRESAS**  
**FECHA DE INGRESO: 26/2/2010**

**ANALISIS DE LODOS DE FOSAS SEPTICAS**

IDENTIFICACION	%		
	N	P	K
M-6 ELTITEX ZONA 12	5.21	0.75	0.22
M-7 PINTURA SUR ZONA 12	2.01	0.54	0.11
M-8 CONDOMINIO EL SOCORRO No. 17	1.33	0.49	0.10
M-9 CONDOMINIO EL SOCORRO No. 21	1.98	0.74	0.12
M-10 VILLA PINULA Km. 15	3.15	0.46	0.31

# **Anexo 2**

---

**Pre dimensionamiento de alternativas**

---

## 1. Lechos de secado cultivados

De los datos proporcionados por MAPRECO, S.A. se tiene un volumen anual de lodos provenientes de fosas sépticas y pozos de absorción de 5896 m<sup>3</sup>/año, y de la caracterización física – química se obtuvo el promedio de sólidos totales (ST), que es de 53966,18 mg/l o 53,97 kg/m<sup>3</sup>. (Ver Tabla X)

Se procede a dimensionar los lechos de secado cultivados, conocidos también con el nombre de humedales artificiales de flujo vertical ó lechos de juncos.

El procedimiento se describe a continuación:

- a. Determinar el volumen de lodos provenientes de fosas sépticas por manejar:

Es de 5896 m<sup>3</sup>/año según datos proporcionados por la empresa.

- b. Determinar los sólidos totales (de lodos de F.S.) producidos anualmente:

$$5896 \frac{m^3}{año} \left[ 53,97 \frac{kg (ST)}{m^3} \right] = 318207,10 \frac{kg}{año}$$

- c. Determinar las unidades requeridas para los humedales artificiales o lechos de secado de lodos:

Se seleccionó la tasa de carga de sólidos de 500 kg ST/(m<sup>2</sup> año).

$$\text{Área requerida (m}^2\text{)} = \left( 318207,10 \frac{kg}{año} \right) \left( \frac{1}{500} \frac{m^2 \text{ año}}{kg} \right) = 636,41 \text{ m}^2$$

Se tiene contemplado un período de retención del líquido percolado de seis días, por tanto se construirán seis unidades de sección transversal cuadrada: 10,30 m x 10,30 m que hacen un área total de 636,54 m<sup>2</sup>.

El área adicional para el cribado, tanques de mezcla, tanques de percolación y vaciado de camiones se estima en alrededor de un 20%. Por tanto el área requerida total del sistema de tratamiento es de 763,85 m<sup>2</sup>.

La frecuencia de remoción de lodo de cada unidad, se calcula de la siguiente manera, tomando en cuenta la densidad promedio de lodo ( $\rho=1.50 \text{ g/cm}^3$ ), y la altura (1.00 m) que se considerará en el lecho de secado de lodo para almacenar los sólidos generados anualmente.

- a. Determinar los sólidos generados en cada unidad:

$$500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ año}} [10.30(10.30)\text{m}^2] = 53045 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

- b. Determinar el volumen de sólidos generados en cada unidad:

$$53045 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1500 \text{ kg}} \right) = 35.36 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

- c. Determinar la capacidad de almacenamiento de lodo de cada unidad de 10.30 m x 10.30 m x 1 m (largo x ancho x alto):

$$(10.30 \text{ m})(10.30 \text{ m})(1.00 \text{ m}) = 106,09 \text{ m}^3$$

- d. Cuantificar el tiempo necesario para la remoción de sólidos del lecho de secado de lodos:

$$106.09 \text{ m}^3 \left( \frac{1}{35.36 \text{ m}^3} \right) = 3.00 \text{ años}$$

Los sólidos acumulados tienen baja cantidad de huevos de helmintos y satisfacen los estándares de calidad para su uso agrícola. (Debido al prolongado tiempo de almacenamiento de lodos en las unidades de secado, se produce la reducción de los huevos de helmintos, y mejora su calidad microbiológica).

## 2. Lagunas de secado de lodos

De los datos proporcionados por MAPRECO, S.A. se tiene un volumen anual de lodos provenientes de fosas sépticas y pozos de absorción de 5896 m<sup>3</sup>/año. Para el dimensionamiento de la laguna de secado de lodos, se consideró un incremento de caudal de 15%, por tanto el caudal medio diario que ingresará al sistema lagunar será de 6780,40 m<sup>3</sup>/año o su equivalente 18,57 m<sup>3</sup>/día. De la caracterización física – química se obtuvo el promedio de sólidos totales (ST), resultante en 53966,18 mg/l. Sin embargo, apoyado en el argumento técnico de co-tratamiento de los lodos provenientes de fosas sépticas y el agua residual proveniente de los pozos de absorción, se concluyó en utilizar una concentración de sólidos suspendidos de 12197 mg/l. Este resultado está muy próximo del valor promedio de sólidos suspendidos totales (SST) de los Estados Unidos (Ver Tabla I). Es este parámetro el utilizado para el diseño de lagunas de estabilización.

La carga orgánica superficial máxima se calculó con la fórmula:

$$Csm = 1,937E - 06 (RS)$$

Donde RS es la radiación solar (KJ/ha-día), basados en las coordenadas geográficas: 14° 35' de latitud norte y 90° 32' de longitud oeste de la planta de tratamiento de aguas residuales "Ingeniero Arturo Pazos". Se determinó la radiación solar en:

Radiación solar promedio mensual (kWh/m <sup>2</sup> /día, datos de 22 años)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5,18	5,73	6,02	6,05	5,48	5,16	5,45	5,34	4,73	4,76	4,90	4,95

Fuente: Administración de Aeronáutica y Espacio (NASA) de los Estados Unidos.

Partiendo de los datos,  $1 \text{ kW-hrs/m}^2\text{-día} = 0,359999\text{E}+08 \text{ kJ/ha-día}$ . La carga orgánica superficial máxima de cada mes se presenta a continuación:

Carga orgánica superficial máxima (mensual)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
361,21	399,56	419,79	421,88	382,13	359,82	380,04	372,37	329,83	331,92	341,69	345,17

Se tomará, por tanto, el valor más crítico de carga orgánica superficial máxima, que es de  $329,83 \text{ kg DBO}_5\text{/ha-día}$ . A continuación se presenta el diseño calculado mediante una hoja electrónica:

# DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA

## DIMENSIONAMIENTO DE LAGUNA FACULTATIVA DE SECADO DE LODO

### DATOS DE DISEÑO

1	Caudal promedio de lodos de fosas sépticas (Qmed)	18,57	m <sup>3</sup> /día
2	Radiación solar mínima diaria del año (Rs)	1,7028E+08	kJ/ha-día
3	(DBO <sub>5</sub> ) de lodos provenientes de fosas sépticas (La)	754,00	mg/l
4	Sólidos Suspendidos Totales (SST) promedio de lodos	12197,00	mg/l
5	Coliformes fecales del lodo provenientes de fosas sépticas	3,73E+10	NMP/100 cm <sup>3</sup>
6	Profundidad de lagunas	1,50	m
7	Relación largo/ancho de laguna facultativa (1:3)	3,00	
10	Período de diseño	Crecimiento de 15% en Qmed	
11	Relación horizontal/vertical del talud interior (i)	1,50	

### DIMENSIONAMIENTO LAGUNA FACULTATIVA

N°	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
1	Carga orgánica superficial máxima (Csm)	$Csm=(1,937E - 06) \cdot (RS)$	329,83	kg DBO5 / ha - día
2	Área de las lagunas facultativas (Af)	$Af=(10*La*Qmed)/(Csm)$	424,51	m <sup>2</sup>
3	Largo total de la laguna (l)	$l=v(3Af)$	35,69	m
4	Ancho total de la laguna (a)	$a=Af/l$	11,90	m
5	Volumen final de la laguna (Vf)	$Vf=P/6*((l*a)+(1-2ip)(a-2ip)+4(l-ip)(a-ip))$	486,30	m <sup>3</sup>
6	Tiempo de retención hidráulica (TRHf)	$TRHf=(Vf/Qmed)$	26,19	días
7	Acumulación de lodos en laguna facultativa (VL-a)	$VL-a=0,00156*Qmed*ST$	353,34	m <sup>3</sup> /año
8	Frecuencia de remoción de lodos (tL)	$tL=0,25*(Vf/VL-a)$	0,34	años
9	Largo de laguna facultativa (1 de 2, paralelo)	$l=v(3Af/2)$	25,23	m
10	Ancho de laguna facultativa (1 de 2, paralelo)	$a=l/3$	8,41	m

# **Anexo 3**

---

**Planos y presupuestos de alternativas**

---



**TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE FOSAS SÉPTICAS**

**ALTERNATIVAS II: LAGUNAS DE SECADO DE LODOS (Unidad de 25,20 x 8,40 x 1,50)**

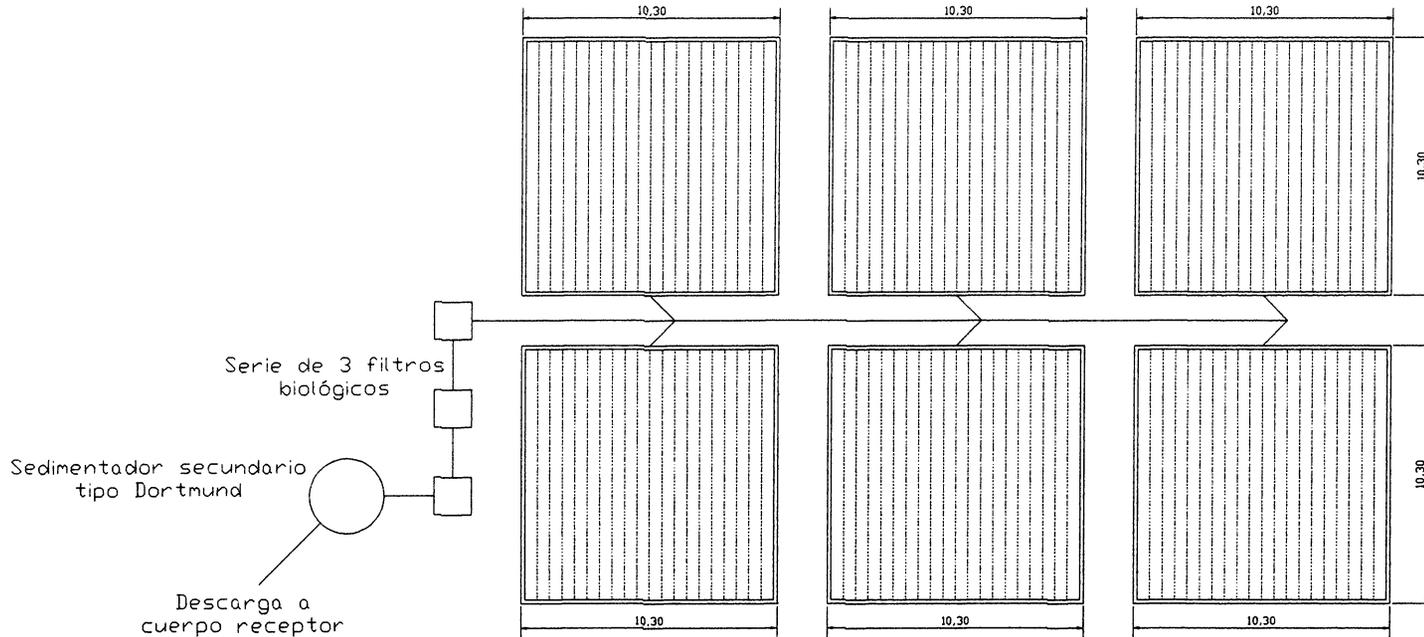
**EMPRESA: MAPRECO, S.A.**

**DISEÑO: ING. CARLOS GALINDO**

		<b>CONTRATO</b>			
<b>No.</b>	<b>Concepto</b>	<b>Und</b>	<b>Cant.</b>	<b>P.U.</b>	<b>Total</b>
<b>1,00</b>	<b>Preliminares</b>				
1,01	Limpieza y descapote.	m <sup>2</sup>	424,51	3,51	1.490,03
1,02	Marcaje y nivelación.	ml	235,20	9,44	2.220,29
	<b>Sub Total</b>				<b>3.710,32</b>
<b>2,00</b>	<b>Excavaciones y Rellenos</b>				
2,01	Excavación de material del sitio (25,20x8,40x1.50) Incluye acarreo	m <sup>3</sup>	486,30	48,25	23.463,98
2,02	Relleno con material arcilloso (Impermeable), capa de 0,25 m	m <sup>3</sup>	230,10	88,00	20.248,80
	<b>Sub Total</b>				<b>43.712,78</b>
<b>3,00</b>	<b>Cimentaciones y estructuras de concreto.</b>				
3,01	Recubrimiento de talud (60% piedra bola + 40% concreto 3000 psi), altura 1 m en perímetro de la laguna de secado	m <sup>2</sup>	134,40	83,37	11.205,33
3,02	Losa de concreto 4000 psi t=0,20 m (rampa de acceso a maquinaria)	m <sup>2</sup>	36,00	288,21	10.375,56
	<b>Sub Total</b>				<b>21.580,89</b>
<b>5,00</b>	<b>Obras de drenaje</b>				
5,01	Torre Dispositivo de drenaje	Glb	2,00	2.800,00	5.600,00
	<b>Sub Total</b>				<b>5.600,00</b>
	<b>TOTAL ACUMULADO EN OBRAS CONTRACTUALES</b>				<b>Q74.603,98</b>

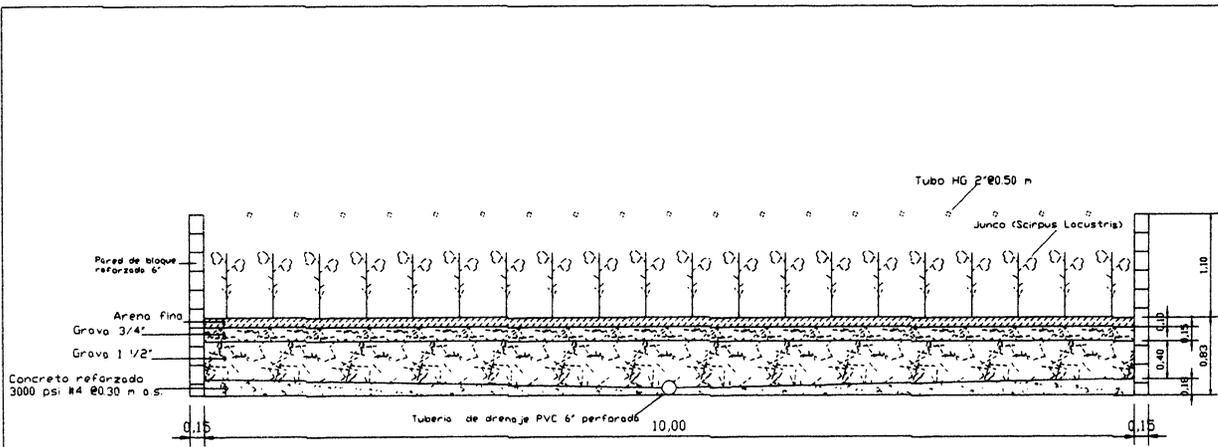
Este costo de Q 74603.98 incluye las dos lagunas de secado de lodos que funcionarán de forma simultánea y paralela.

Lechos de secado de lodos (utilizando juncos)



PLANTA GENERAL DE PTAR

ESC. \_\_\_\_\_ 1:300



PERFIL TRANSVERSAL DEL LECHO DE SECADO DE LODOS

ESC. \_\_\_\_\_ 1:80

Predimensionamiento del lecho de secado de lodos

ESCALA:  
Indicada

Planta general y sección transversal de unidades de tratamiento

FECHA:  
14/6/2010

Ciudad Guatemala, Guatemala

DISEÑO Y DIBUJÓ  
Ing. Carlos René Galindo

Estudio Especial, ERIS - USAC

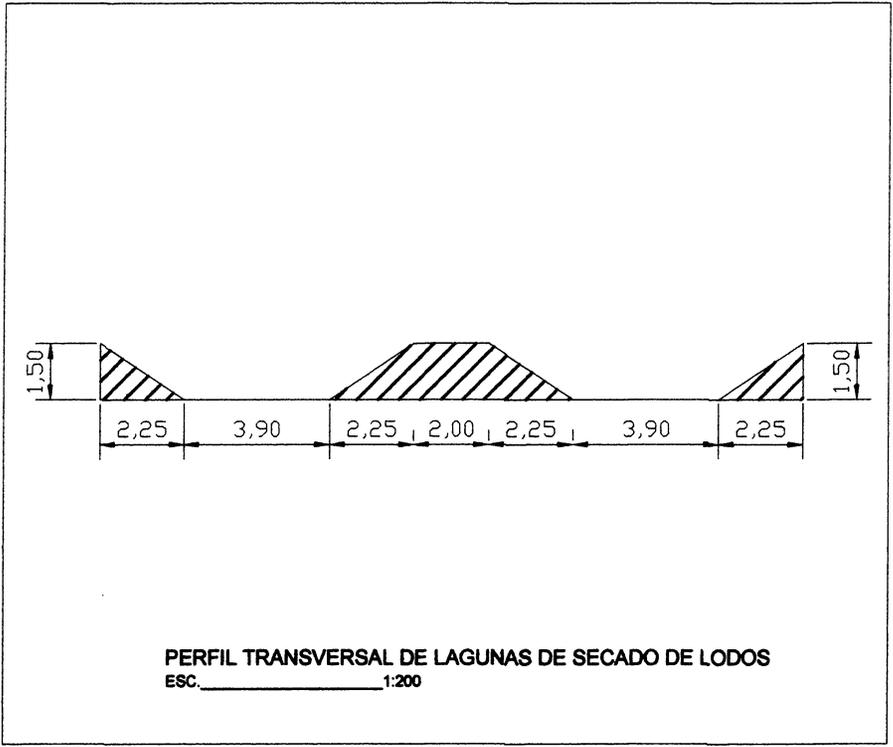
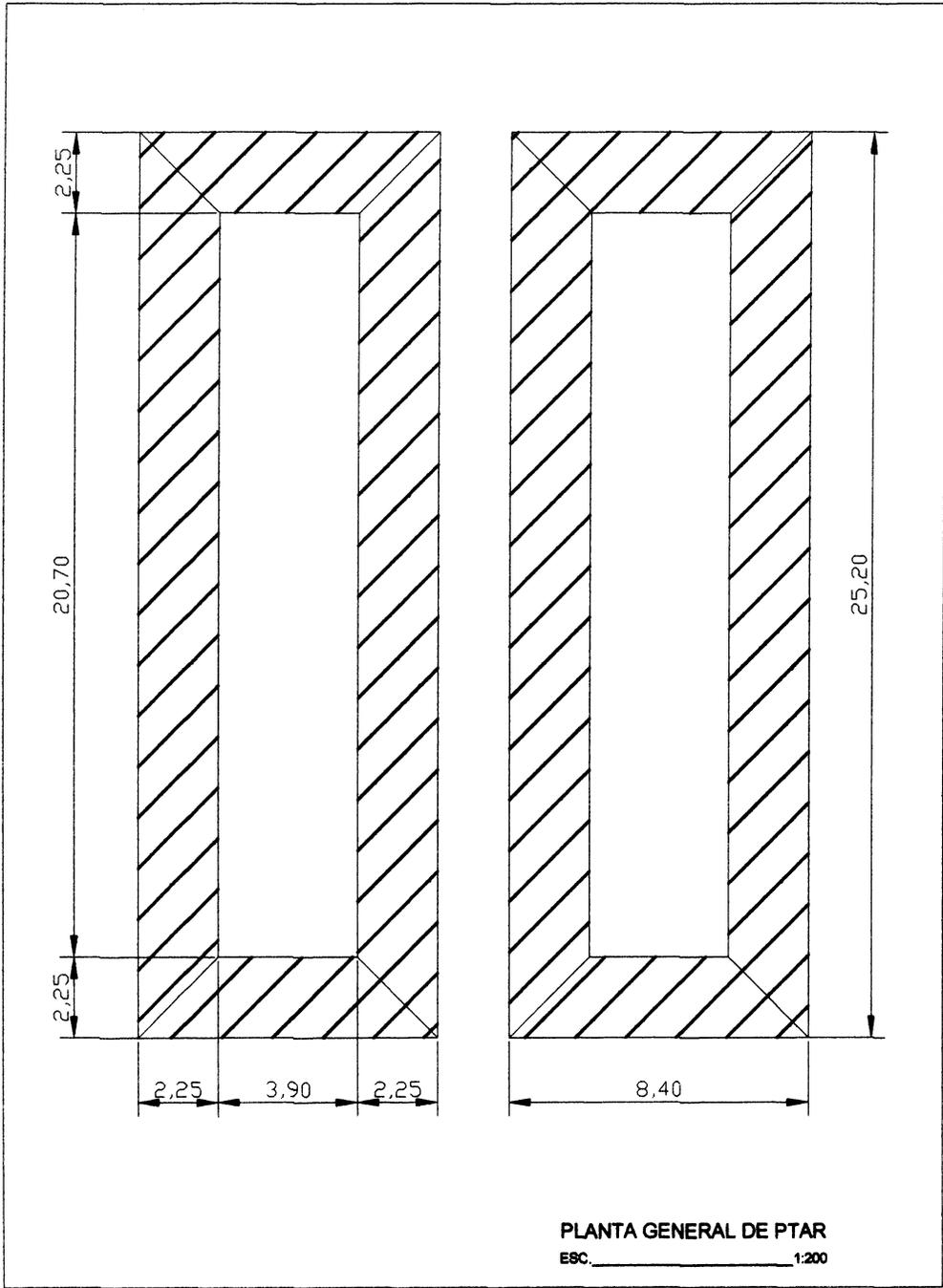
REVISÓ:  
Dr. Ing. Adán Pocasangre



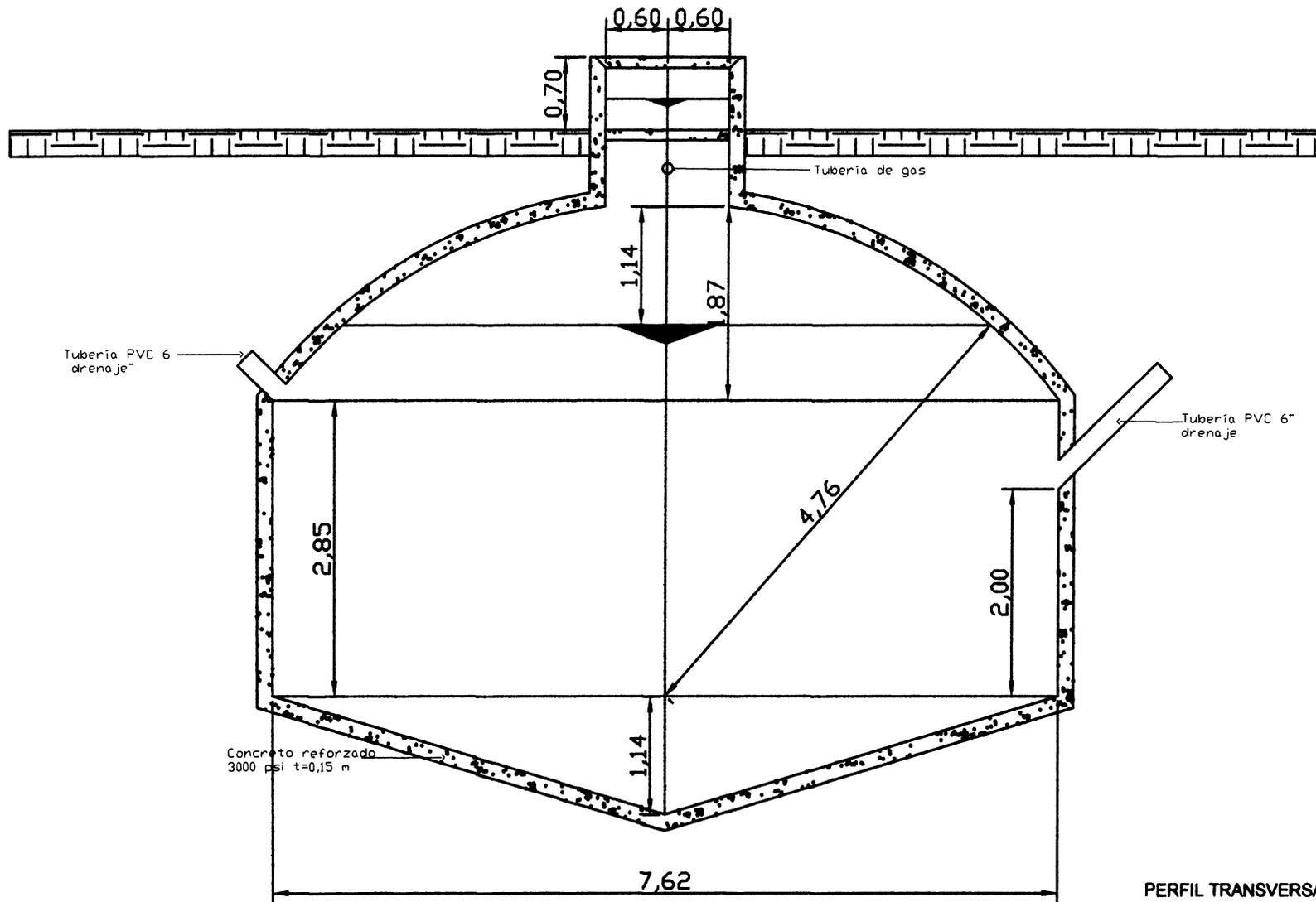
FIRMA Y SELLO DE INGENIERO

HQJA:

1 / 4

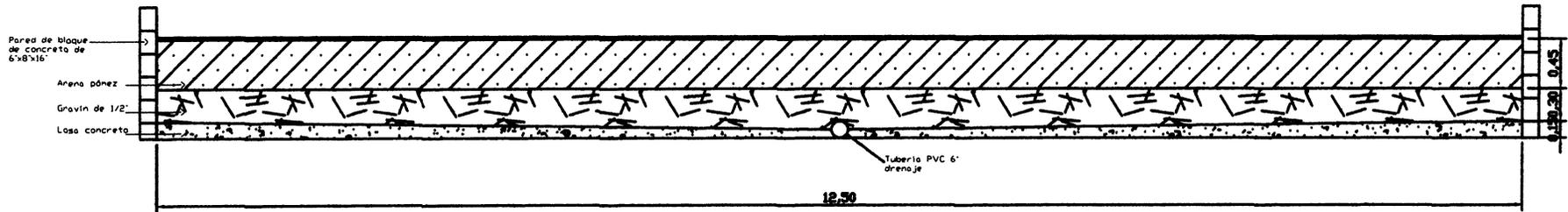


Pre dimensionamiento de lagunas de secado de lodos	ESCALA: Indicada
Planta general y sección transversal de unidades de tratamiento	FECHA: 14/8/2010
Ciudad Guatemala, Guatemala	DISEÑO Y DIBUJÓ Ing. Carlos René Galindo
Estudio Especial, ERIS - USAC	REVISÓ: Dr. Ing. Adán Pocasangre
 FIRMA Y SELLO DE INGENIERO	HOJA: 2/4



PERFIL TRANSVERSAL DE DIGESTOR  
 ESC. 1:00

Digestor anaeróbico de lodos provenientes de fosas sépticas		ESCALA: Indicada
Sección transversal del tanque biodigestor		FECHA: 14/8/2010
Ciudad Guatemala, Guatemala	DISEÑO Y DIBUJO Ing. Carlos René Galindo	
Estudio Especial, ERIS - USAC	REVISÓ: Dr. Ing. Adán Pocasangre	
 FIRMA Y SELLO DE INGENIERO	HOJA: 3 / 4	



PERFIL TRANSVERSAL  
 ESC. \_\_\_\_\_ 1:80

Patio de secado de lodos

ESCALA:  
Indicada

Sección transversal de patio de secado

FECHA:  
14/6/2010

Ciudad Guatemala, Guatemala

DISEÑO Y DIBUJO  
Ing. Carlos René Galindo

Estudio Especial, ERIS - USAC

REVISOR:  
Dr. Ing. Adán Pocasangre



*[Signature]*  
 FIRMA Y SELLO DE INGENIERO

HOJA:  
4 / 4