



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez.

**Ing. Álvaro Alberto Martínez Guillén**  
**Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz**

Guatemala, noviembre de 2003.  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN COMO  
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA BASE  
MILITAR NO. 10 DE JUTIAPA, COLONIA MILITAR DE JUTIAPA, BASE AÉREA  
DEL SUR EN RETALHULEU Y ESCUELA POLITÉCNICA EN SAN JUAN  
SACATEPÉQUEZ.

**ESTUDIO ESPECIAL**

PRESENTADO A LA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS  
HIDRÁULICOS (ERIS)  
POR

**INGENIERO ALVARO ALBERTO MARTINEZ GUILLEN**  
**INGENIERO NICOLAS DE JESUS GUZMAN SAENZ**

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTROS EN INGENIERÍA SANITARIA**  
(MAGISTER SCIENTIFICAE)

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003.  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazmina Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Msc. Julio Guillermo García Ovalle
EXAMINADOR	Ing. Msc. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	Ing. Dr. Adán Pocasangre Collazos
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

### **ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL**

ING. Msc. JULIO GUILLERMO GARCIA OVALLE

### **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN COMO  
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA BASE  
MILITAR NO. 10 DE JUTIAPA, COLONIA MILITAR DE JUTIAPA, BASE AÉREA  
DEL SUR EN RETALHULEU Y ESCUELA POLITÉCNICA EN SAN JUAN  
SACATEPÉQUEZ.**

Tema que fuera autorizado por la comisión de admisión y otorgamiento de grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha 4 de agosto de 2003.

---

Ing. Álvaro Alberto Martínez Guillen

---

Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz

Guatemala 21 de octubre de 2003.

Ingeniero  
**Teófilo Álvarez**  
Jefe Control Académico  
ERIS  
Presente

Ingeniero Álvarez:

Atentamente le informo que he revisado el trabajo de Estudio Especial titulado: **“Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez”**, de los estudiantes, Ingeniero Álvaro Alberto Martínez Guillén y el Ingeniero Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz.

Deseo manifestarle que los estudiantes Álvaro Martínez y Nicolás Guzmán, cumplieron con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su proyecto en forma satisfactoria.

Agradeciendo su atención a la presente, se suscribe de usted, atentamente,

Ing. Msc. Julio Guillermo García Ovalle  
**Asesor**

Guatemala 22 de octubre de 2003.

Ingeniero  
**Pedro Saravia Célis**  
Director de Escuela  
ERIS  
Presente

Ingeniero Saravia:

Respetuosamente le comunico que he examinado el trabajo de Estudio Especial titulado: **“Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez”**, de los estudiantes, Ingeniero Álvaro Alberto Martínez Guillén y el Ingeniero Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz.

Deseo manifestarle que los estudiantes Álvaro Martínez y Nicolás Guzmán, cumplieron con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su proyecto en forma satisfactoria.

Agradeciendo su atención a la presente, se suscribe de usted, atentamente,

Ing. Esp. Teófilo Álvarez  
**Jefe Control Académico**

El Director de Postgrado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS-, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero Msc. Julio Guillermo García Ovalle y del Visto Bueno del Jefe de Control Académico Ing. Especialista Teófilo Álvarez al trabajo de los estudiantes: Ingeniero Álvaro Alberto Martínez Guillen e Ingeniero Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz, titulado: **“Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez”**, procede a la autorización del mismo.

**IMPRIMASE**

**Ing. Msc. Pedro Saravia Célis**

Director ERIS

Ing. Álvaro Alberto Martínez Guillen  
**SUSTENTANTE**

Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz  
**SUSTENTANTE**

Ing. Julio Guillermo García Ovalle  
**ASESOR**

## INDICE GENERAL

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	IX
<b>GLOSARIO</b>	XIII
<b>SIMBOLOGÍA</b>	XV
<b>RESUMEN</b>	XVII
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	XIX
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	XXI
<b>OBJETIVOS</b>	XXIII
<b>HIPÓTESIS</b>	XXV
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXVII
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INFORMACIÓN GENERAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN</b>	1
1.1.    Lagunas de Estabilización	1
1.1.1.    Proceso aerobio	2
1.1.2.    Proceso anaerobio	2
1.2.    Distribución física de las lagunas	3
1.2.1.    Lagunas en serie	3
1.2.2.    Lagunas en paralelo	3
1.3.    Tipos de lagunas	4
1.3.1.    lagunas aerobias	4
1.3.2.    lagunas anaerobias	4
1.3.3.    lagunas facultativas	5

**CAPÍTULO II**

DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ZONAS MILITARES EN ESTUDIO	7
2.1. Localización geográfica de las zonas militares en Guatemala	7
2.2. Descripción de la base militar No. 10 de Jutiapa	8
2.2.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales	8
2.2.2. Distribución física de las lagunas	9
2.2.3. Obras de pretratamiento	10
2.2.4. Medidores de caudal	10
2.2.5. Características físicas de las lagunas	11
2.2.6. Drenaje pluvial	11
2.3. Descripción de la colonia militar de Jutiapa	11
2.3.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales	12
2.3.2. Distribución física de las lagunas	12
2.3.3. Obras de pretratamiento	13
2.3.4. Medidores de caudal	14
2.3.5. Características físicas de las lagunas	14
2.3.6. Drenaje pluvial	15
2.4. Descripción de la base aérea del sur	15
2.4.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales	16
2.4.2. Distribución física de las lagunas	16
2.4.3. Obras de pretratamiento	17
2.4.4. Medidores de caudal	18
2.4.5. Características físicas de las lagunas	18
2.4.6. Drenaje pluvial	19

	<b>Página</b>
2.5. Descripción de la Escuela Politécnica	19
2.5.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales	21
2.5.2. Distribución física de las lagunas	21
2.5.3. Obras de pretratamiento	22
2.5.4. Medidores de caudal	22
2.5.5. Características físicas de las lagunas	23
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>SISTEMA DE AGUA POTABLE Y PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN</b>	<b>25</b>
3.1. Análisis general de la base militar No. 10 de Jutiapa	25
3.1.1. Población de la base	25
3.1.2. Fuente de abastecimiento	25
3.1.3. Consumo de agua potable	26
3.1.4. Dotación de agua	26
3.1.5. Análisis del sistema de las aguas residuales en las lagunas de estabilización	26
3.2. Análisis general de la colonia militar de Jutiapa	27
3.2.1. Población de la colonia militar	27
3.2.2. Fuente de abastecimiento	27
3.2.3. Consumo de agua potable	28
3.2.4. Análisis del sistema de las aguas residuales en las lagunas de estabilización	29
3.3. Análisis general de la base aérea del sur en Retalhuleu	29
3.3.1. Población de la base aérea del sur	29
3.3.2. Fuente de abastecimiento	29

	<b>Página</b>
3.3.3. Consumo de agua potable	30
3.3.4. Análisis del sistema de las aguas residuales en las lagunas de estabilización	31
3.4. Análisis general de la Escuela Politécnica	31
3.4.1. Población de la Escuela Politécnica	31
3.4.2. Fuente de abastecimiento	31
3.4.3. Consumo de agua potable	32
3.4.4. Análisis del sistema de las aguas residuales en la laguna de estabilización	33
3.5. Datos técnicos de las plantas en estudio	33

## **CAPÍTULO IV**

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO Y MEDIDAS CORRECTIVAS	35
4.1. Base militar No. 10 de Jutiapa	35
4.1.1. Condiciones de las obras de pretratamiento	35
4.1.2. Condiciones estructuras de entrada, interconexión y salida	35
4.1.3. Condiciones de los taludes	35
4.1.4. Condiciones de las lagunas de estabilización	36
4.2. Colonia militar de Jutiapa.	36
4.2.1. Condiciones de las obras de pretratamiento	36
4.2.3. Condiciones de los taludes	36
4.2.2. Condiciones estructuras de entrada, interconexión y salida	37
4.2.4. Condiciones de las lagunas de estabilización	37
4.2.5. Estado actual del canal de lluvia	37

	<b>Página</b>
4.3. Base aérea del sur en Retalhuleu	38
4.4. Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez	39
4.5. Medidas correctivas base militar No. 10 de Jutiapa	40
4.5.1. Obras de pretratamiento	40
4.5.2. Estructuras de entrada, interconexión y salida	40
4.5.3. Protección a taludes	41
4.6. Medidas correctivas colonia militar de Jutiapa	42
4.6.1. Estructuras de entrada, interconexión y salida	42
4.6.2. Medidores de caudal	42
4.6.3. Protección de los taludes	43
4.6.4. Lagunas de estabilización	43
4.6.5. Línea de desfogue	43
4.7. Medidas correctivas base aérea del sur, en Retalhuleu	44
4.7.1. Alcantarillado que conduce a las lagunas	44
4.7.2. Tuberías	44
4.7.3. Rejas	44
4.7.4. Remoción de lodos y material depositado	45
4.7.5. Disposición de las lagunas	45
4.7.6. Diques	46
4.7.7. Protección de los taludes	46
4.7.8. Estructura de entrada, interconexión y salida	46
4.8. Medidas correctivas escuela politécnica, en San Juan Sacatepéquez	47

**CAPÍTULO V**

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA CALIDAD DEL AGUA	49
5.1. Fase inicial de investigación	49
5.2. Fase de campo	49
5.2.1. Selección de los puntos de muestreo	49
5.2.2. Toma de muestras	50
5.2.3. Aforo	51
5.3. Fase de laboratorio	52
5.3.1. Análisis físico-químico realizado	52
5.3.2. Análisis bacteriológico	52
5.4. Recursos utilizados	53
5.4.1. Humanos	53
5.4.2. Físicos	53
5.4.3. Determinación de las áreas de trabajo	53

**CAPÍTULO VI**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
6.1. Resultados de los parámetros físico-químicos estudiado y porcentajes de remoción	55
6.1.1. Base militar de Jutiapa	55
6.1.2. Colonia militar de Jutiapa	56
6.1.3. Base aérea del sur en Retalhuleu	57
6.1.4. Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez	58
6.2. Resultado análisis bacteriológico	59
6.2.1. Base militar de Jutiapa	59

	<b>Página</b>
6.2.2. Colonia militar de Jutiapa	60
6.2.3. Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez	60
6.2.4. Base aérea del sur en Retalhuleu	61
6.3. Gráficos de resultados	62
6.3.1. Base militar de Jutiapa	62
6.3.2. Colonia militar de Jutiapa	63
6.3.3. Base aérea del sur en Retalhuleu	65
6.3.4. Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez	66
6.4. Discusión de Resultados	68
6.4.1. Base militar de Jutiapa	68
6.4.2. Colonia militar de Jutiapa	79
6.4.3. Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez	85
6.5. Generalidades	89
6.5.1. Análisis del período de retención hidráulica	90
6.5.1. Propuesta de solución para el riego en la base militar de Jutiapa y la colonia militar de Jutiapa	92
6.5.2. Datos del sistema de bombeo utilizado para riego.	92
<b>CONCLUSIONES</b>	95
<b>RECOMENDACIONES</b>	97
<b>REFERENCIAS</b>	99
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	101
<b>ANEXOS</b>	103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b>	
1.1. Sistema lagunar en serie	3
1.2. Sistema lagunar en paralelo	3
2.1. Localización geográfica de las zonas militares en estudio	7
2.2. Laguna de estabilización primaria, base militar de Jutiapa	9
2.3. Laguna de estabilización terciaria, base militar de Jutiapa	9
2.4. Vertedero de madera utilizado para la medición de caudales	10
2.5. Casa modelo colonia militar	12
2.6. Lagunas de estabilización en serie colonia militar	13
2.7. Entrada y salida de las lagunas de estabilización respectivamente.	13
2.8. Entrada y salida de las lagunas de estabilización respectivamente.	13
2.9. Localización de las lagunas de estabilización en Retalhuleu	15
2.10. Laguna primaria de la base aérea del sur (no está funcionando)	16
2.11. Desarenador y vertedero de entrada, base aérea del sur	17
2.12. Diagrama de flujo de las lagunas de estabilización en serie	18
2.13. Localización geográfica de la escuela politécnica	19
2.14. Vista parcial del camino hacia la laguna	20
2.15. Laguna de estabilización, escuela politécnica	21
2.16. Caja de registro previo a entrar a la laguna	22
2.17. Salida de la laguna, medición de caudal.	22
2.18. Diagrama de flujo de las lagunas de estabilización	23

	<b>Página</b>
4.1. Deterioro parcial del sistema lagunar de la base militar de Jutiapa	36
4.2. Deterioro parcial del sistema lagunar de la colonia militar. Estructura de salida y laguna primaria respectivamente.	38
4.3. Deterioro parcial del sistema lagunar de la colonia militar. Estructura de salida y laguna primaria respectivamente.	38
4.4. Deterioro parcial del sistema lagunar de la base aérea del sur, en Retalhuleu. laguna secundaria y terciaria respectivamente.	38
4.5. Deterioro parcial del sistema lagunar de la base aérea del sur, en Retalhuleu. laguna secundaria y terciaria respectivamente.	38
4.6. Deterioro parcial del sistema lagunar de la escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez.	39
4.7. Deterioro parcial del sistema lagunar de la escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez.	39
5.1. Toma de muestras para análisis microbiológico en las lagunas de estabilización	50
5.2. Toma de muestras para análisis físico-químico en las lagunas de estabilización	51
5.3. Análisis microbiológico, laboratorio química y microbiología	51
5.4. Determinación de pruebas confirmativas con tubos múltiples de fermentación.	51
5.5. Aforo volumétrico en el punto de la base aérea del sur	52
5.6. Recursos humanos y físicos utilizados en el estudio	53

	<b>Página</b>
6.3.1. Base militar de Jutiapa	62
6.3.2. Colonia militar de Jutiapa	63
6.3.3. Base aérea del sur en Retalhuleu	65
6.3.4. Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez	67

### **LISTA DE CUADROS**

2.A. Dimensiones de las lagunas de estabilización, base aérea del sur	19
2.B. Dimensiones de la laguna de estabilización, escuela politécnica	23
3.1. Datos de agua potable	26
3.2. Datos hidráulicos de las lagunas	26
3.3. Datos estadísticos de caudales	27
3.4. Caudales de aguas negras y sus variaciones	27
3.5. Área de riego agrícola de la base militar	27
3.6. Datos de agua potable	28
3.7. Datos hidráulicos de las lagunas	29
3.8. Datos estadísticos de caudales	29
3.9. Caudales de aguas negras y sus variaciones	29
3.10. Área de riego agrícola de la colonia militar	29
3.11. Datos de agua potable	30
3.12. Datos hidráulicos de las lagunas	31
3.13. Datos estadísticos del caudal de aguas negras	31
3.14. Caudal de aguas negras y sus variaciones	31
3.15. Datos de agua potable	32
3.16. Datos hidráulicos de la laguna	33
3.17. Caudales de aguas negras de la planta de tratamiento en estudio	33

	<b>Página</b>
5.1. Puntos de muestreo y número de muestras	50
6.1.1. Resultados de los parámetros físico-químicos estudiado y porcentajes de remoción, base militar de Jutiapa	55
6.1.2. Resultados de los parámetros físico-químicos estudiado y porcentajes de remoción, colonia militar de Jutiapa	56
6.1.3. Resultados de los parámetros físico-químicos estudiado y porcentajes de remoción, base aérea del sur	57
6.1.4. Resultados de los parámetros físico-químicos estudiado y porcentajes de remoción, Escuela Politécnica	58
6.2.1. Resultado análisis bacteriológico, base militar de Jutiapa	59
6.2.2. Resultado análisis bacteriológico, colonia militar de Jutiapa	60
6.2.3. Resultado análisis bacteriológico, escuela politécnica	60
6.2.4. Resultado análisis bacteriológico, base aérea del sur	61
6.3.1. Gráficos de resultados, base militar de Jutiapa	62
6.3.2. Gráficos de resultados, colonia militar de Jutiapa	63
6.3.3. Gráficos de resultados, base aérea del sur en Retalhuleu	65
6.3.4. Gráficos de resultados, escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez	67
6.4. Comparación de la remoción de patógenos del proceso de tratamiento en las lagunas de estabilización	90

## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	Corriente de agua que abastece otro curso de agua o alimenta una instalación.
<b>Aforo</b>	Medir el caudal de un líquido.
<b>Aguas residuales</b>	Son aguas de origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.
<b>Bacterias aeróbicas</b>	Organismos unicelulares y microscópicos, que realizan todos sus procesos con la ayuda del oxígeno.
<b>Bacterias anaeróbicas</b>	Bacterias unicelulares y microscópicas que sobreviven sin la presencia de oxígeno.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	Indica la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos vivos para la utilización o la destrucción aeróbica de la materia orgánica. Representa la cantidad de oxígeno disuelto que puede ser necesario para desarrollar y sostener la actividad biológica precisa para degradar una determinada cantidad de residuos.
<b>Dotación</b>	Cantidad de agua que se asigna a una unidad consumidora.
<b>Efluente</b>	Agua que sale de un medio de tratamiento, que ha sido sometida a operaciones y procesos.
<b>Estabilización</b>	Oxidación y sedimentación de las aguas residuales.

**Oxigeno disuelto**

Oxígeno disponible que contiene el agua.

**Patógenos**

Organismos causantes de enfermedades.

**Vertedero**

Abertura de forma geométrica que posee una lámina o placa, que sirve para medir el caudal de un fluido.

## SIMBOLOGÍA

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
CA	Carretera centroamericana
CIEG	Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de Guatemala
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
dot	Dotación
DQO	Demanda química de oxígeno
FDM	Factor día máximo
FHM	Factor hora máximo
FR	Factor de retorno
lts/día	Litros por día
lts/hab/año	Litros por habitante por año
lts/hab/día	Litros por habitante por día
lts/seg	Litros por segundo
NMP CF/100 cm <sup>3</sup>	Número más probable de coliformes fecales en 100 centímetros cúbicos.
OD	Oxígeno disuelto
pH	Potencial de hidrógeno
t	Tiempo o período de retención
vol	Volumen
”	Pulgadas



## RESUMEN

La población centroamericana se ha enfrentado desde hace mucho tiempo al problema de los desechos orgánicos, sean estos sólidos o líquidos, incluso algunos son inherentes a sus tradiciones higiénicas. Esto ha creado diferentes planteamientos para la disposición de los residuos, creando diseños, métodos y estructuras físicas para tratarlos. Generalmente este tipo de requisito de diseño es al que nos enfrentamos en la disposición final de aguas residuales en cualquier sector de una población.

Para el tratamiento apropiado de las aguas residuales domesticas se utilizan diferentes tipos de métodos, entre los cuales está el sistema de lagunas de estabilización; éste constituye un sistema natural que ofrece costos mínimos de operación y mantenimiento, por lo cual es reconocido como el más adecuado para las condiciones económicas de poblaciones de bajos recursos financieros; convirtiéndose en una solución de costo mínimo al problema de salud humana, pues en el área centroamericana lo más importantes es la remoción de patógenos y carga orgánica (DBO).

Se reconoce que Guatemala cuenta con poca cobertura de tratamiento de aguas residuales: 47 plantas de tratamiento en total, de las cuales 38 son plantas convencionales y 18 de ellas se encuentran en la ciudad de Guatemala; de éstas solo funcionan 4 plantas. 9 plantas son sistemas de lagunas de estabilización y actualmente solo funcionan 5.

El ejército de Guatemala, cuenta con varias lagunas de estabilización dentro de sus áreas militares, algunas funcionando y otras abandonadas.

ERIS, viendo la importancia de realizar estudios científicos e investigativos tomó la decisión de estudiar y evaluar 4 sistemas de lagunas de estabilización en estas áreas militares, con el propósito de crear conciencia a todas las personas involucradas en la operación y mantenimiento de estos sistemas de tratamiento, haciéndoles saber la importancia que este trabajo y los estudios de pregrado hechos con la facultad de ingeniería tienen para el país de Guatemala.

Dentro de los apartados más importantes que contiene este trabajo es el manual de operación y mantenimiento de lagunas de estabilización, el cual es una guía para todos los operadores de plantas esencial para el buen funcionamiento de las lagunas.

De acuerdo a la investigación en el estudio y evaluación de estos sistemas lagunares, se comparó con la eficiencia en remoción teórica que debe ser de un 70 a 95 % en DBO, 55 a 95 % en sólidos suspendidos y un 90% como mínimo en la remoción de patógenos; los resultados obtenidos son los siguientes: para la base militar de Jutiapa se tiene un 82.07% de remoción de DBO, 30.56% de remoción de sólidos suspendidos y 70% de remoción de patógenos. Para la colonia militar de Jutiapa se tiene un 52.51% de remoción de DBO, 16.67% de remoción de sólidos suspendidos y un 50% de remoción de patógenos. Para la escuela politécnica se tiene un 79.90% de remoción de DBO, 79.91% de remoción de sólidos suspendidos y un 80% de remoción de patógenos, siendo ésta última la que mejor tratamiento da a las aguas residuales a pesar de no contar con nada de operación y mantenimiento.

La iniciativa de este trabajo de investigación es de empezar con lineamientos adecuados programas de monitoreo y evaluación, además de cursos de capacitación al personal adecuado e idóneo para mantener y operar estas instalaciones; iniciando desde los mismos diseños hasta llegar al punto clave que es la operación y mantenimiento.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de lagunas de estabilización en Guatemala en comparación con otros países de latinoamérica es mínima, y si agregamos que son lagunas estáticas (no tienen aireación por medios mecánicos), y que tienen graves deficiencias en la remoción de carga orgánica y patógenos debido a un mal diseño del sistema, falta de manuales de operación y mantenimiento, o ambos; esto lleva a que los sistemas funcionen mal, obteniendo como resultado un tratamientos por debajo de los estándares establecidos a nivel mundial. Después de más de 30 años de funcionamiento de las lagunas de estabilización de las zonas militares de Guatemala, teniendo un mínimo de operación y mantenimiento, y sin ningún estudio y evaluación durante este período es importante saber ¿cuál es la calidad de efluente que sale de las lagunas?, ¿y qué deterioro se ha producido por la falta de operación y mantenimiento rutinario?

### **a) Alcances del problema**

Se dará atención específica a los aspectos técnicos que permitan obtener los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de las aguas residuales, necesarios para determinar la calidad de las mismas; en base a estos determinar la eficiencia de cada una de las lagunas.

### **b) Delimitación del problema**

El ingreso a las lagunas de estabilización en las zonas militares en estudio, es restringido a personal militar, teniendo que hacer notificaciones a los comandantes de brigada por cada ingreso a las lagunas para la toma de muestras y posterior análisis en el laboratorio. Este estudio se realizó únicamente en las zonas militares de Guatemala en estudio.



## JUSTIFICACIÓN

En la literatura referida a las lagunas de estabilización, se le reconoce que es el único proceso que puede producir efluentes de una calidad tal que se puede utilizar para riego en la agricultura, acuicultura, entre otros, y que la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de sólidos sedimentables (SS) en éstas, es comparable con los otros sistemas de tratamiento, los cuales requieren cloración como un proceso terciario para obtener una remoción de bacterias, igual al que las lagunas pueden alcanzar mediante un proceso secundario. A través del *estudio y evaluación de los sistemas de lagunas de estabilización* que se encuentran en funcionamiento en el mundo, se han obtenido resultados efectivos del proceso de tratamiento, específicamente en la remoción de patógenos, los cuales sirven para estudiar con mayor detalle otras lagunas, tal es el caso de las lagunas de las zonas militares de Guatemala.

En este orden de ideas y conscientes de la necesidad que se tiene en la actualidad del aprovechamiento de los recursos hídricos y especialmente al haber invertido tiempo, espacio y recursos en un proceso de tratamiento de agua, y que su disposición final es normalmente un cuerpo receptor que encausa las aguas tratadas a un lugar específico, se reconoce la necesidad de darle atención a la parte de administración, operación y mantenimiento.

También tiene mucha importancia realizar este estudio, debido a que las zonas militares de Guatemala cuentan con sistemas de lagunas estabilización construidas en las décadas de los años sesenta, setenta y ochenta por el cuerpo de ingenieros del ejército de Guatemala, que han funcionado hasta el día de hoy con un mínimo de operación y mantenimiento, y, a su vez, no se cuenta con información suficiente del comportamiento cualitativo de las mismas.

Por lo tanto, el estudio propuesto dará a conocer la funcionalidad de cada una de las lagunas, determinando con esto, la eficiencia de remoción de materia orgánica (carga orgánica) y patógenos, entre otros, y también evaluar otros aspectos como el tiempo de retención en función del caudal que pasa a través de ellas. Se considera, también, que después de casi 30 años de uso han sufrido desgaste, daños físicos que influyen en el proceso de tratamiento.

Este trabajo beneficiará mucho a todas las personas que de alguna manera están relacionadas con la planificación y diseño de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales, ya que contarán con un apoyo teórico y práctico del buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento y, además, con las guías mínimas de operación y mantenimiento.

## OBJETIVOS

### **Objetivo general**

Estudiar y evaluar las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la base militar No. 10 de Jutiapa, colonia militar de Jutiapa, base aérea del sur en Retalhuleu y escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar la cantidad y calidad del afluente y efluente de las lagunas de estabilización de las zonas militares en estudio.
2. Determinar los factores que influyen en la calidad de los efluentes, tanto físicos como de operación y mantenimiento.
3. Determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, tales como temperatura, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables y suspendidos, nitritos y nitratos, y el análisis bacteriológico por el método de tubos de fermentación; todo esto para la evaluación de cada una de las lagunas estudiadas.



## HIPÓTESIS

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de lagunas de estabilización en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez, remueven teóricamente del 55% al 95% de materia orgánica y, al menos, el 90% de patógenos, cuando trabajan en buenas condiciones de administración, operación y mantenimiento y, por lo tanto, sus efluentes no causan ninguna contaminación al medio ambiente.



## INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas predicen que, para el año 2010, se tendrá una crisis a nivel mundial del recurso agua, lo cual podrá ocasionar conflictos y guerras. Para el año 2025, un cuarto de los 3 billones de habitantes, sufrirá escasez de agua. A esto se le suma que sólo una pequeña cantidad del agua dulce del planeta (aproximadamente el 0,008%) está actualmente disponible para el consumo humano. Un 70% de la misma se destina a la agricultura, un 23% a la industria y sólo un 8% al consumo doméstico.

En los países en vías de desarrollo, el ***95% de las aguas residuales se descargan sin ser tratadas en ríos cercanos***<sup>1</sup> que, a su vez, suelen ser una fuente de agua potable.

Guatemala no es la excepción, ya que cuenta aproximadamente con una cobertura del 8% en el tratamiento de sus aguas residuales. Uno de los sistemas de tratamiento más importante, pero poco utilizado en la región son las “lagunas de estabilización”, también llamadas “lagunas de oxidación”. Se ha reconocido por medio de estudios que éste es el único proceso que puede producir efluentes de una calidad que puede utilizarse para riego en la agricultura, acuicultura, etc. ya que la remoción de materia orgánica y bacteriológica es significativa en comparación de otros procesos de tratamiento.

---

<sup>1</sup> Microsoft Encarta Biblioteca de Consulta 2003.

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) preocupada en aportar soluciones en el aprovechamiento de los recursos y en fomentar tecnologías de bajo costo, se ha propuesto la meta de realizar investigación aplicada con estudios científicos utilizando profesionales del área de la ingeniería sanitaria y profesionales de ingeniería civil, dirigidas en este caso específico al estudio de las lagunas de estabilización de cuatro zonas militares de Guatemala.

Se hará una caracterización de las aguas y se observará el comportamiento de cada una de las lagunas de estabilización de las zonas militares de Guatemala en estudio. Los parámetros más importantes que se van a estudiar son: caudal de entrada y salida, potencial de Hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitratos, nitritos, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos; también el análisis bacteriológico.

Este trabajo presenta una descripción del área en estudio, correspondiente a la Base militar y Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y la Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez. Se contempla realizar una pequeña descripción del manual de operación y mantenimiento para cada lugar en estudio, incluyéndose mapas y planos. Incluye los costos que lleva rehabilitar y reconstruir algunas de las lagunas de estabilización, haciendo un total de **Q390, 366.50** sin muro perimetral y bodega para guardianía; y **Q748, 296.50** con muro perimetral y bodega.

## CAPÍTULO I INFORMACIÓN GENERAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

La humanidad ha enfrentado, a lo largo de la historia, el problema de los desechos orgánicos sólidos y líquidos, registrados en diversas culturas, incluso dentro de sus costumbres higiénicas. Esto ha creado diferentes planteamientos para la disposición de los residuos, y el diseño de métodos y tecnologías para tratarlos. Generalmente este tipo de requisito de diseño es al que nos enfrentamos en la disposición final de aguas servidas en cualquier sector de una población.

### **1.1. Lagunas de estabilización.**

Para la disposición apropiada de las aguas residuales domésticas se puede utilizar el sistema de lagunas de estabilización, el cual constituye un sistema natural que ofrece costos mínimos de operación, por lo cual es reconocido como el más adecuado para las condiciones económicas de poblaciones de bajos recursos financieros; convirtiéndose en una de las soluciones al problema de salud humana.

Una laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple para embalsar agua, de poca profundidad de 1 a 4 m y con períodos de retención de uno a cuarenta días. Las lagunas de estabilización, tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales ulteriores e, inclusive, ser utilizadas para riego de cultivos en general.

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100cm<sup>3</sup>) de las aguas descargadas en una laguna de estabilización, y del efluente de las mismas, son los parámetros que más se han utilizado para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento.

Las lagunas que reciben el agua residual cruda se les llama lagunas primarias, el sistema debe contar por lo menos con dos lagunas primarias en paralelo con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de lodos de la otra. Las lagunas que reciben el efluente de una laguna primaria se denominan secundarias, y dependiendo la calidad del efluente que uno desea evacuar pueden llegar a terciarias, cuaternarias, etc. a estas también se les llama de maduración.

#### **1.1.1. Proceso aerobio.**

Este proceso se caracteriza por la descomposición de la materia orgánica, la cual se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto, en este proceso participan bacterias aeróbicas o facultativas, las cuales originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a algas, éstas a su vez producen el oxígeno que facilita la actividad de las mismas bacterias.

#### **1.1.2. Proceso anaerobio.**

Este proceso es más lento y puede originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la

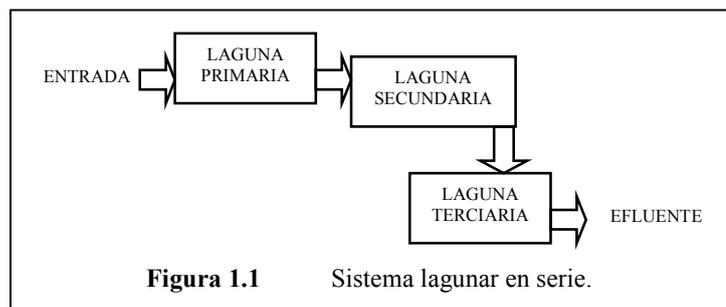
incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto, y la laguna se torna de color gris oscuro.

## 1.2. Distribución física de las lagunas.

De acuerdo con la secuencia del flujo de una batería de lagunas, se pueden tener lagunas en serie, en paralelo, o en paralelo-serie.

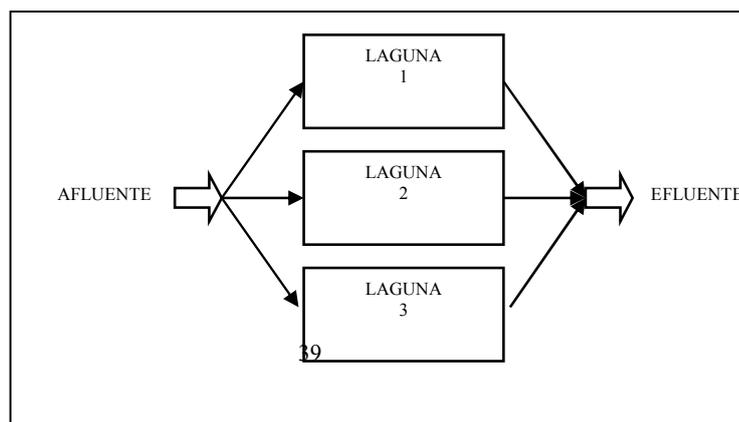
### 1.2.1. Lagunas en serie.

Conjunto de lagunas que se suceden unas a otras y que están relacionadas entre sí (figura 1.1). La calidad bacteriológica del efluente al colocar varias lagunas facultativas en serie ofrece una gran mejoría en la estabilización de las aguas residuales.



### 1.2.2. Lagunas en paralelo.

Son dos o más circuitos que se conectan independientemente a uno principal (figura 1.2). El uso de estas lagunas no incrementa considerablemente la calidad del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas de construcción y operación; ya que las lagunas primarias acumulan una gran cantidad de lodos, y requieren ser limpiadas periódicamente.



**Figura 1.2** Sistema lagunar en paralelo.

### **1.3. Tipos de lagunas.**

El objetivo primordial de las lagunas de estabilización, es la remoción de patógenos, para ello se toma como base el período de retención, asimismo, se disminuye la carga orgánica (DBO) de las aguas residuales; y se logra, de esta manera, que el nivel de oxígeno disuelto (OD) en los cuerpos receptores se vea favorecido, con el beneficio de ser utilizado sin muchos riesgos para los peces y demás organismos acuáticos. Las posibles variaciones en lagunas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de distintas maneras, pero una de las más habituales es hacerlo según la participación del oxígeno disuelto en el sistema.

#### **1.3.1. Lagunas aerobias.**

Una laguna en que se espera (por diseño) que exista oxígeno disuelto en todo el sistema se clasifica como laguna aerobia. Son de alta producción de biomasa, cuya profundidad es reducida entre 0.3 a 0.45 metros, en la cual, mediante la penetración de la luz solar hasta el fondo y por su diseño para una máxima producción de algas con cortos períodos de retención, la reducción de la materia orgánica es efectuada por la acción de organismos aeróbicos. Son utilizadas perfectamente en climas calientes y con buena radiación solar, su uso en el tratamiento de aguas residuales no es generalizado.

#### **1.3.2. Lagunas anaerobias.**

Si el oxígeno está ausente en toda la laguna se clasifica como laguna anaerobia, y es cuando la carga orgánica aumenta mucho, la DBO excede la producción de oxígeno de las algas, actuando como un digestor anaeróbico abierto. Son estanques de mayor profundidad, varía entre 2.5 a 5 metros, con tiempos de retención del agua residual en ellas de 5 días. En éste tipo de lagunas, no se remueven los flotantes para conservar el calor y para aislar la laguna del oxígeno atmosférico.

### **1.3.3. Lagunas facultativas.**

Las lagunas facultativas son las más utilizadas, tienen la característica de poseer una zona superior aerobia y otra zona inferior anaerobia, existe una zona de transición en donde viven las bacterias facultativas. La profundidad de estas lagunas varía entre 1 y 2 m. Este tipo de lagunas se proyectan para tiempos de retención altos y cargas orgánicas bajas. En lo que respecta a la remoción de materia orgánica, las lagunas facultativas alcanzan un valor hasta del 85% y un 99.9% máximo en lo referido a la remoción de bacterias coliformes.



## CAPÍTULO II

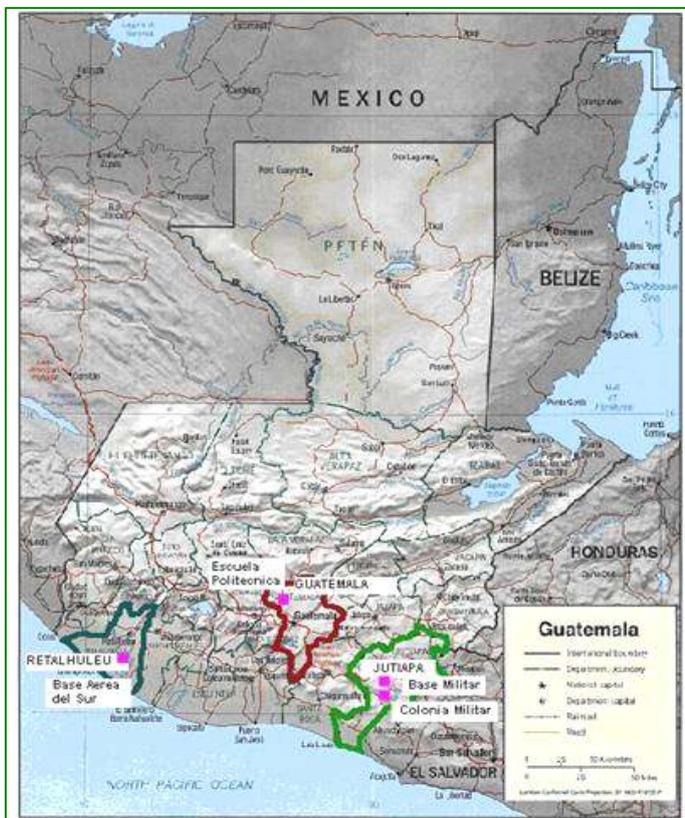
### DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

#### DE LAS ZONAS MILITARES EN ESTUDIO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

##### 2.1. Localización geográfica de las zonas militares en Guatemala.

Guatemala es un país localizado en Centroamérica. Sus límites territoriales son: por el Norte y Oeste: México; por el Este: Belice y mar de las Antillas; por el Sureste: Honduras y El Salvador; por el Suroeste: océano Pacífico. Guatemala cuenta con 22 departamentos, de éstos, es en **Guatemala**, **Jutiapa** y **Retalhuleu** en donde se ubican las zonas militares que se estudian<sup>2</sup>. (Figura 2.1).

**Figura 2.1.** Localización geográfica de las zonas militares en estudio



<sup>2</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE (año 2003).

A continuación se presenta la descripción técnica de cada una de éstas zonas militares, así como de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Las zonas militares en estudio son: la Base militar No. 10 y la Colonia militar, ambas ubicadas en Jutiapa, la Base aérea del sur ubicada en Retalhuleu y la Escuela politécnica ubicada en el Departamento de Guatemala.

## **2.2. Descripción de la zona militar No. 10 de Jutiapa.**

La zona militar No.10 de Jutiapa fue construida en 1964 y está ubicada en la finca Cerro Gordo Jutiapa. En 1983, según acuerdo gubernativo No. 155-83 contenido en la orden 4-83, fue nombrada “Zona militar No.10 de Jutiapa”.

Se encuentra ubicada a 113 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala y a 5 kilómetros de la cabecera departamental de Jutiapa, colinda con el municipio de Quezada y la aldea Cerro Colorado. Entre sus principales vías de comunicación está la carretera Interamericana CA-1 que por el oeste proviene de Cuilapa Santa Rosa, y a unos 7,5 kilómetros al noroeste se enlaza con la ruta nacional 2 (CA-2). La Base militar se sitúa en la parte noroeste del departamento, en la región sur-oriental, se localiza en latitud 14° 16' 58" y longitud 89° 53' 33". El clima es calido, con temperaturas de 19° a 40° C, la humedad que se percibe es parcialmente seca.

### **2.2.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales.**

El sistema de tratamiento fue diseñado y construido en el año 1960 por el ingeniero Arturo Pazos Sosa. Es un sistema que cuenta con 8 fosas sépticas y 3 lagunas de estabilización (**figura 2.2 y 2.3**). Las aguas residuales tratadas desembocan en el río Amayito, el cual se encuentra a 400 metros de las lagunas de estabilización, y es conducido por tubería de concreto.



**Figura 2.2.** Lagunas de estabilización primaria.  
Base militar de Jutiapa



**Figura 2.3.** Lagunas de estabilización terciaria.  
Base militar de Jutiapa

### **2.2.2. Distribución física de las lagunas.**

Las tres (3) lagunas de estabilización de la base militar No.10 están conectadas en serie, todas las lagunas son facultativas.

### 2.2.3. Obras de pretratamiento.

Las obras de pretratamiento son 8 fosas sépticas colocadas una enfrente de cada compañía, cuyas dimensiones son de 2.50 m. de ancho, 5.00 m de largo y 1.50 m. de profundidad. Éstas tienen la función básica de la remoción de sólidos sedimentables a través de digestión anaerobia. Existen 3 trampas de grasas ubicadas en la cocina de oficiales, cocina de especialistas y cocina de tropa; las dimensiones de las trampa de grasas son de 1.00 m. de ancho, 1.00 m. de largo y 0.80 m. de profundidad.

### 2.2.4. Medidores de caudal.

El medidor de caudal esta ubicado en la estructura de entrada y salida de las lagunas de estabilización; consiste en un vertedero de sección triangular sujetados con angulares de acero (para el estudio se construyeron vertederos nuevos hechos de madera<sup>2</sup>), **figura 2.4**.



**Figura 2.4.** Vertedero de madera utilizado para la medición de caudales

### **2.2.5. Características físicas de las lagunas.**

Las dimensiones de las 3 lagunas de estabilización facultativas<sup>3</sup> son las siguientes:

1. **Laguna primaria**, con un área de 5500 m<sup>2</sup> (0.55 Ha), 110 m de largo, 50.00 m. de ancho y profundidad de 1.50 m.
2. **Laguna secundaria**, con un área de 2400 m<sup>2</sup> (0.24 Ha), 50.00 m de largo, 48.00 m. de ancho y profundidad de 1.50 m.
3. **Laguna terciaria**, con un área de 2375 m<sup>2</sup> (0.2375 Ha), 50.00 m de largo, 47.50 m de ancho y profundidad de 1.50 m.

### **2.2.6. Drenaje pluvial.**

El drenaje pluvial consiste en un sistema de alcantarillado ubicado a lo largo de todas las calles que componen la Base Militar. Consiste en tragantes, pozos de visita y un canal de desfogue que va a terminar en el río Amayito.

## **2.3. Descripción de la colonia militar.**

La vía de comunicación principal que conduce de la ciudad capital de Guatemala hacia la Colonia Militar es la carretera CA-1. Se encuentra ubicada a 114 kilómetros de la ciudad capital y a 4 kilómetros de la cabecera departamental. Colinda con el municipio de Quezada y la aldea cerro colorado. La Colonia Militar de Jutiapa fue fundada en septiembre de 1978 por el general de división Kjell Eugenio Laugerud García.

---

<sup>3</sup> Referencia.: Ing. Denys Estuardo Motta Rodas, "Evaluación de las condiciones físicas y de operación en las lagunas de estabilización de la base militar no.10 de Jutiapa". Tesis de graduación. Año 2003.

Actualmente cuenta con 25 casas ubicadas de forma ordenada en cada una de las tres calles principales que la conforman (**Figura 2.5**). De las 25 casas solamente 23 se encuentran ocupadas por oficiales del ejército. La Colonia Militar se localiza en la latitud  $14^{\circ} 16' 58''$  y en la longitud  $89^{\circ} 53' 33''$ .



**Figura 2.5.** Casa modelo, colonia militar

### **2.3.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales.**

La planta de tratamiento fue diseñada y construida por el Ingeniero Arturo Pazos, en el año de 1978 al final de la calle de acceso principal. Las aguas residuales tratadas son específicamente de uso domestico, proveniente de las casas y de las instalaciones del club de oficiales situado a la par de la Colonia. El agua residual es conducida por tuberías de concreto a la estructura de entrada de la planta de tratamiento en la cual no existe canal de rejas que impida la entrada de basuras al sistema de tratamiento.

### **2.3.2. Distribución física de las lagunas.**

El sistema consta de dos lagunas de estabilización facultativas colocadas en serie (**figura 2.6**)

### 2.3.3. Obras de pretratamiento.

Las dimensiones de la estructura de entrada son las siguientes: 5.86 metros de largo, 0.60 metros de ancho y profundidad de 1.48 metros. Las dos tuberías que entran hacia el canal de entrada son de concreto de 8" de diámetro. La estructura de interconexión tiene 5 metros de largo con paredes de 0.15 metros y un ancho de 0.60 metros, así como una profundidad de 1.50 metros (en la **figura 2.7 y 2.8** se pueden apreciar las estructuras de entrada, interconexión y salida).



**Figura 2.6.** Lagunas de estabilización en serie colonia militar



**Figura 2.7. y 2.8.** Entrada y salida de las lagunas de estabilización respectivamente.

#### **2.3.4. Medidores de caudal.**

En la planta de tratamiento de aguas residuales de la colonia militar de Jutiapa existieron medidores de caudal al inicio del funcionamiento de las mismas. En el caso del presente estudio, las mediciones se hicieron por medio de aforo volumétrico.

#### **2.3.5. Características de las lagunas.**

La planta de tratamiento consta de dos lagunas de estabilización facultativas en serie las cuales tienen las siguientes dimensiones:

##### **Laguna primaria**

- Altura del nivel del agua = 1.00 m.
- Altura total de la laguna = 2.00 m.
- Largo = 42 metros (visto en planta)
- Ancho = 32 metros (visto en planta)
- Área = 1344 m<sup>2</sup>

##### **Laguna secundaria**

- Altura del nivel del agua = 1.00 m.
- Altura total de la laguna = 2.00 m.
- Largo = 32.60 metros (visto en planta)
- Ancho = 32 metros (visto en planta)
- Área = 1043.20 m<sub>2</sub>

Las Lagunas de estabilización de la colonia militar de jutiapa poseen en su alrededor un canal para lluvia el cual evita que las aguas pluviales recarguen y contaminen las lagunas, además de servir como rebalse. La descarga de las aguas





A Champerico

Fuente: Instituto Geográfico Nacional, **mapa de Retalhuleu**, hoja 1859 I

La planta de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización está situada en una Latitud Norte de 14°31'11" y una longitud Oeste de 91°41'59" a una altura media de 201 m sobre el nivel del mar (**figura 2.9**).

#### **2.4.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales.**

El sistema está diseñado de tal forma que una red colectora de PVC de 6" de diámetro con cajas de registro y cajas para unificar caudal, conduzcan el agua residual hacia las lagunas de estabilización. Actualmente la planta de tratamiento no está en funcionamiento a causa del deterioro que presentan las lagunas, por lo que el líquido se está desviando antes de llegar a ellas, descargándose directamente a un quinel<sup>4</sup> que pasa por la base aérea.

#### **2.4.2. Distribución física de las lagunas.**

El sistema consta de tres lagunas de estabilización facultativas colocadas en serie (**figura 2.10**)



<sup>4</sup> El quinel se refiere a un canal sin revestimiento a manera de zanja, el que transporta el agua pluvial de la base aérea y sirve de descarga al efluente de las lagunas de estabilización.

**Figura 2.10.** Laguna primaria de la base aérea del sur (no está en funcionamiento)

### **2.4.3. Obras de pretratamiento.**

Las lagunas de estabilización cuentan con un tratamiento primario, que consiste en un desarenador ubicado en la estructura de entrada, tiene una longitud de 4.33 m, un ancho de 0.70 m y una altura de 0.31 m del fondo a la abertura del vertedero. En la **figura 2.11** se muestra el desarenador y el vertedero que controla las velocidades del agua dentro de la estructura y que además sirve para la medición de caudal.



**Figura 2.11.** Desarenador y vertedero de entrada, Base aérea del sur

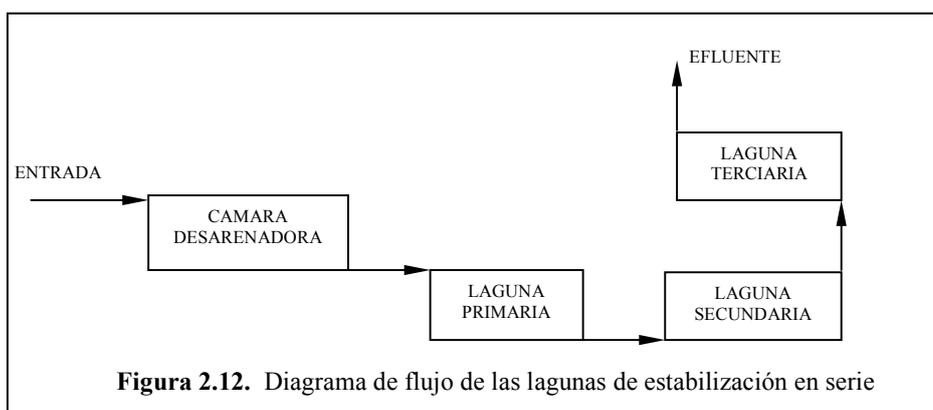
Existe además una fosa séptica para tratar las aguas provenientes de la cochiguera, la cual se conecta posteriormente a la red de alcantarillado. La fosa séptica es de un solo compartimiento, el material de construcción utilizado es concreto reforzado y sus dimensiones son 1.80 m de longitud, 1.20 m de ancho y 1.40 m de profundidad.

#### 2.4.4. Medidores de caudal.

La estimación de caudales de aguas residuales se realizó mediante aforo volumétrico en un pozo de visita antes de ingresar a las lagunas de estabilización. Las estructuras de entrada y salida de las lagunas cuentan con medidores de caudal, que consisten en vertederos triangulares de pared delgada, construidos de metal.

#### 2.4.5. Características de las lagunas.

El sistema de lagunas está conformado por tres lagunas facultativas dispuestas en serie, colocadas en el orden de laguna primaria, secundaria y terciaria, tal y como se aprecia en anexos. La **figura 2.12**, muestra el diagrama de flujo para las lagunas de estabilización, en el cual se presenta la operación unitaria en el desarenador y el proceso en el sistema de lagunas.



En lo que respecta a la geometría de las lagunas, la planta de la laguna primaria tiene la forma de un romboide y volumétricamente la de un paralelepípedo irregular, mientras que las lagunas secundaria y terciaria tienen formas irregulares. En la **tabla 2A**, se presentan las dimensiones de superficie en el fondo, volumen, relación largo / ancho y profundidad de las lagunas de estabilización en estudio.

**Cuadro 2A.** Dimensiones de las lagunas de estabilización, base aérea del sur

Descripción	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	L/a	Profundidad (m)
Laguna primaria	3525.27	3659.08	1.25	1.00
Laguna secundaria	1216.38	1298.41	2.00	1.00
Laguna terciaria	1301.43	1387.23	2.00	1.00

#### 2.4.6. Drenaje pluvial.

El drenaje pluvial consiste en un 5% de conexiones directas a los drenajes sanitarios y el 95% corre por las calles y desfoga en un quintel que pasa a lo largo de la base.

#### 2.5. Descripción de la Escuela Politécnica.

La Escuela Politécnica se encuentra localizada en el municipio de San Juan Sacatepéquez, Departamento de Guatemala, aproximadamente a 33 kilómetros de la Ciudad de Guatemala (figura 2.13). Está situada en una Latitud Norte de 14°43'02" y una longitud Oeste de 90°38'34" a una altura de 1845.10 msnm.



**Figura 2.13.** Localización geográfica de la Escuela Politécnica

Ha tenido cuatro épocas en su historia:

- La primera época del 1 de septiembre de 1873 al 20 de abril de 1908, en el Convento de la Recolectión contiguo a la Iglesia del mismo nombre en la ciudad capital, a iniciativa de los generales Justo Rufino Barrios Auyón y Miguel García Granados.
- La segunda época inició el 27 de junio de 1912 durante el Gobierno del Licenciado Manuel Estrada Cabrera, la Academia Militar de Guatemala en el edificio situado en el Boulevard 30 de junio (hoy Avenida de la Reforma Zona 10), suspendió sus actividades docentes por los terremotos de 1917-1918.
- La tercera época inició el 2 de mayo de 1920 adoptando nuevamente el nombre de Escuela Politécnica por Acuerdo Gubernativo del 2 de mayo de 1920 emitido por el Presidente Carlos Herrera en el mismo edificio que ocupó la Academia Militar en la zona 10, fue clausurada el 18 de diciembre de 1976.
- La cuarta época se inauguró con el traslado del personal del edificio que ocupó durante 64 años en La Avenida La Reforma, zona 10 de la ciudad capital a sus nuevas y modernas instalaciones ubicadas en el municipio de San Juan Sacatepéquez, el 15 de enero de 1977, donde funciona hasta la fecha.



**Figura 2.14.** Vista parcial del camino hacia la laguna

### **2.5.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales.**

Cuenta con un sistema o red de tuberías de concreto de 8” a 10” de diámetro, con cajas de registro y unificadoras de caudal, el cual conduce el agua residual hacia la laguna de estabilización. Actualmente la laguna se encuentra unos 800 metros de distancia de los módulos de la Escuela Politécnica y la diferencia de nivel entre los módulos y la laguna de estabilización es de aproximadamente de 60 metros (**figura 2.14**). El sistema de tratamiento fue construido en el año de 1980, el cual funciona hasta la fecha sin haber sido evaluado ni eliminado los lodos acumulados. No cuenta con drenajes pluviales para la recolección y disposición de las aguas pluviales.

### **2.5.2. Distribución física de la laguna.**

El sistema consta de una sola laguna de estabilización, colocado después de la última caja de registro aproximadamente a 20 metros de la laguna (**figura 2.15**).



**Figura 2.15** Laguna de estabilización, Escuela Politécnica

### 2.5.3. Obras de pretratamiento.

No existe ningún tipo de estructura de pretratamiento ni tratamiento primario previo a entrar a la laguna de estabilización. La **figura 2.16** muestra la última caja de registro antes de entrar por tubería subterránea a la laguna.



**Figura 2.16.** Caja de registro previo a entrar a la laguna

### 2.5.4. Medidores de caudal.

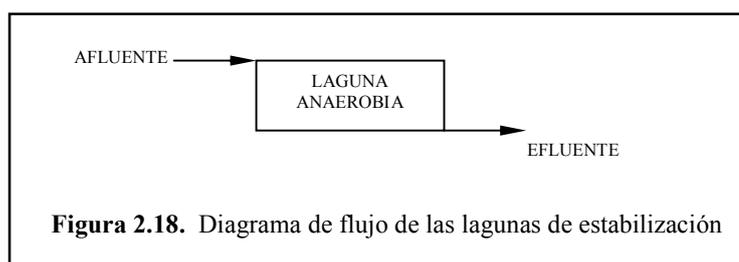
El muestreo para la estimación de caudales de aguas residuales en la Escuela politécnica, se realizó mediante aforo volumétrico. Determinando el caudal de ingreso (**figura 2.16**) y el caudal de salida (**figura 2.17**) a la laguna de estabilización.



**Figura 2.17.** Salida de la laguna. Medición de caudal.

### 2.5.5. Características de la laguna.

El sistema consta de una sola laguna de medidas de 25 metros de ancho y 60 metros de largo, con una profundidad promedio de 2 metros<sup>5</sup>. La **figura 2.18**, muestra el diagrama de flujo para la laguna de estabilización.



**Figura 2.18.** Diagrama de flujo de las lagunas de estabilización

En lo que respecta a la geometría de la laguna, tiene la forma de un rectángulo y volumétricamente la de un paralelepípedo irregular. La forma y dimensiones de la laguna, se obtuvo mediante levantamiento topográfico, con poligonales abiertas y radiaciones a cada una de las esquinas de las lagunas, además, mediante procedimiento de medición acuática se tiene la profundidad. En la **tabla 2B**, se presentan las dimensiones de superficie en el fondo, volumen, relación largo / ancho y profundidad de las lagunas de estabilización en estudio.

**Cuadro 2B.** Dimensiones de la laguna de estabilización, Escuela Politécnica

Descripción	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	L/a	Profundidad (m)
Laguna	1500	2076	2.4	2.00

---

<sup>5</sup> **Fuente:** Guillermo García Peña. Evaluación de las condiciones físicas y de operación en la laguna de estabilización de la Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Tesis de Graduación. Año 2003.



## CAPÍTULO III

### SISTEMA DE AGUA POTABLE Y PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

La información obtenida para el estudio de caudales de las plantas de tratamiento de aguas residuales en las zonas militares de Jutiapa, Retalhuleu y Guatemala, fue investigada por los ingenieros Denys Estuardo Motta Rodas, Herbert Mauricio López Morales, Sergio Jehovani Morales y Guillermo García Peña respectivamente; como parte de su tesis de graduación (ver en referencias).

#### **3.1. Análisis general de la base militar No. 10 de Jutiapa.**

##### **3.1.1. Población de la base.**

La población total de la base es de 1200 personas, esta compuesta de 1000 soldados pertenecientes a la tropa y 200 personas entre oficiales y personal administrativo de la base.

##### **3.1.2. Fuente de abastecimiento.**

La fuente de abastecimiento de agua potable consiste en 2 pozos de 60 metros de profundidad cada uno, bombean agua hacia 3 tanques de almacenamiento ubicados a 25 metros del cuartel general por medio de una bomba sumergible de 15 HP de fuerza y capacidad de 150 lt/min. Las dimensiones de estos tanque cilíndricos son de 3.40 metros de diámetro por 11.40 metros de largo, Haciendo un volumen total de 310.50 metros cúbicos. La longitud de la línea de conducción es de 500 metros.

### 3.1.3. Consumo de agua potable.

Actualmente se suministra 201,82 m<sup>3</sup> (201 820 litros / día) de agua a toda la base, lo que hace un 65% del volumen total; teniendo en cuenta que son 13 horas de servicio, hace un caudal medio diario de agua potable de **4.31 lt/seg.**

### 3.1.4. Dotación de agua.

La dotación de agua potable por habitante distribuida en actividades como aseo personal, aseo de unidades y limpieza general de la base militar es de **168.09 lt/hab./día.** En la tabla 3.1 se tiene un resumen del abastecimiento de agua potable.

<b>Cuadro 3.1 Datos de agua potable</b>	
Población total (soldados y oficiales)	1 200
Dotación (lts /hab/ día)	168.09 lt/seg
Caudal medio diario	4.31 lt/seg
Tanque de agua	3 uni.
Volumen suministrado al día	201.82 m <sup>3</sup> /día
Horas de consumo	13 hrs.
Horario de muestreo	06.00 A 18.00 hrs.
Métodos de aforo	Vertedero / Volumétrico
Caudal máximo horario (Q.M.H.)	5.64 lt/seg
Caudal máximo diario (Q.M.D.)	4.14 lt/seg
Factor de hora máxima (F.H.M.)	1.5
Factor de día máximo (F.D.M.)	1.1
Factor de retorno	0.8747 = 87.47%

### 3.1.5. Análisis del sistema de las aguas residuales en las lagunas de estabilización.

<b>Cuadro 3.2 Datos hidráulicos de las lagunas</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Laguna primaria</b>	<b>Laguna secundaria</b>	<b>Laguna terciaria</b>
Dimensiones (mt.)	110 X 50 X 1.50	50 X 58 X 1.50	50 X 47 X 1.50
Área	0.5 HA	0.24 HA	0.2375 HA
Altura inicial de retención del sistema	1.10 M.	1.10 M.	1.10 M.
Altura de lodos actual	0.25 M.	0.15 M.	0.14 M.
Altura actual de retención	0.85 M.	0.95 M.	0.96 M.
Volumen de diseño en 1964	6654.76 M <sup>3</sup>	3019.70 M <sup>3</sup>	2990.38 M <sup>3</sup>
Volumen del sistema después en el 2003	5032.85 M <sup>3</sup>	2560.77 M <sup>3</sup>	2565.49 M <sup>3</sup>
Caudal de entrada	3.77 lts/s.	3.58 lt/s.	3.40 lt/s.
Periodo de retención de diseño en 1964	37.72 DIAS	18.02 DIAS	18.79 DIAS
Periodo de retención del sistema en el 2003	28.53 DIAS	15.28 DIAS	16.12 DIAS

<b>Cuadro 3.3 Datos estadísticos de caudales</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Entrada al sistema</b>	<b>Salida de la última laguna</b>
Media aritmética	3.77 lt/seg	1.89 lt/seg
Mediana	3.84 lt/seg	1.90 lt/seg
Moda	3.84 lt/seg	1.90 lt/seg
Intervalo de relación	4.06 lt/seg	2.26 lt/seg
Varianza	0.7 lt/seg	1.91lt/seg
Desviación típica	0.84 lt/seg	1.38 lt/seg

<b>Cuadro 3.4 Caudales de aguas negras y sus variaciones</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Entrada al sistema</b>	<b>Salida de la última laguna</b>
Caudal medio diario (Q.Med)	3.77 lt/seg	1.89 lt/seg
Caudal máximo Puntual	6.16 lt/seg	3.44 lt/seg
Caudal mínimo Puntual	2.13 lt/seg	0.81 lt/seg

<b>Cuadro 3.5 Área de riego agrícola de la base militar</b>	
<b>Cultivo</b>	<b>Área de riego (m<sup>2</sup>)</b>
Maíz, Cebolla	6400
<b>Total</b>	<b>6400</b>

### **3.2. Análisis general de la colonia militar de Jutiapa.**

#### **3.2.1. Población de la colonia militar.**

La población está compuesta por oficiales de la base Militar y sus familiares, siendo un promedio de 160 habitantes, incluyendo personal administrativo y operativo del club de oficiales.

#### **3.2.2. Fuente de abastecimiento.**

La fuente de abastecimiento de agua potable posee un pozo mecánico de 60 metros de profundidad, ubicado a la par de las instalaciones del club de oficiales y surte agua las 24 horas del día. La tubería de succión es de HG de 2.5" de diámetro y 300 metros de longitud, la bomba tiene una potencia de 10 caballos. La línea de conducción es de HG de 2.5" de diámetro, tiene una longitud de 300 metros.

El tanque de almacenamiento es de concreto armado de 6 metros de base, 1.80 metros de alto y 9 metros de fondo, lo que nos da un volumen total de 97.2 m<sup>3</sup>. La red de distribución de agua potable es una red completa de tubería de PVC de 2.5” de diámetro.

### 3.2.3. Consumo de agua potable.

Después de investigar acerca de las variaciones en los volúmenes del tanque de almacenamiento de agua en la colonia militar<sup>6</sup> se puede afirmar que el consumo diario promedio es del 40% del volumen total del tanque. Por lo tanto el caudal medio es de **0.77 lts/seg.**, y la dotación por habitante es de **243 lts/hab/día**. En la tabla 3.6 se tiene un resumen del abastecimiento de agua potable en la colonia militar de Jutiapa.

<b>Cuadro 3.6 Datos de agua potable</b>	
Número de casas	25
Número de casas ocupadas	23
Población (hab.)	160
Dotación (lts/hab/día)	243
Caudal medio diario (lts/seg)	0.77
Tanque de agua (unid.)	1
Volumen suministrado al día (m <sup>3</sup> )	97.2
Horas de consumo	14.00 hrs.
Horario de muestreo	06.00 A 18.00 hrs.
Método de aforo	Volumétrico / Limnómetro
Caudal máximo horario (Q.M.H.)	1.53 lt/seg.
Caudal máximo diario (Q.M.D.)	0.83 lt/seg.
Factor de hora máxima (F.H.M.)	1.47
Factor de día máximo (F.D.M.)	1.28
Factor de retorno	0.84 = 84.00%

---

<sup>6</sup> NOTA: el día de labores o actividades de la Colonia es de 14 horas principiando a consumir agua potable desde las cinco de la mañana y terminando a las 7 de la noche en promedio.

### 3.2.4. Análisis del sistema de las aguas residuales en las lagunas de estabilización.

<b>Cuadro 3.7 Datos hidráulicos de las lagunas</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Laguna primaria</b>	<b>Laguna secundaria</b>
Dimensiones (mts.)	42 X 32 X 2	32.60 X 32 X 2
Área	1344 M2	1043.20 M2
Altura inicial de retención del sistema	1.00 M.	1.00 M.
Altura de lodos actual	0.30 M.	0.25 M.
Volumen de diseño en el año de 1964	593.04 M3	477.44 M3
Caudal de Entrada	0.65 lts/s.	0.6241 lt/s.
Periodo de retención al inicio de operaciones del sistema	18.10 días	14.57 días

<b>Cuadro 3.8 Datos estadísticos del caudal de aguas negras</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Entrada al sistema</b>	<b>Salida de la última laguna</b>
Media aritmética	0.65 lt/seg.	0.6253 lt/seg
Mediana	0.65 lt/seg.	0.63 lt/seg
Moda	0.60 lt/seg.	0.67 lt/seg
Intervalo de relación	1.21 lt/seg	1.18 lt/seg
Varianza	0.035 lt/seg	0.033 lt/seg
Desviación típica	0.1872 lt/seg	0.18 lt/seg

<b>Cuadro 3.9 Caudales de aguas negras y sus variaciones</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Caudal medio diario (Q.Med)	0.65 lt/seg.	0.6241 lt/seg.
Caudal máximo puntual	1.53 lt/seg.	1.49 lt/seg.
Caudal mínimo Puntual	0.32 lt/seg.	0.31 lt/seg.

<b>Cuadro 3.10 Área de riego agrícola colonia militar</b>	
<b>Cultivo</b>	<b>Área de riego (m<sup>2</sup>)</b>
Maíz	2661
Frijol	1104
Pepino	1215.1
<b>Total</b>	<b>4980.1</b>

### 3.3. Análisis general de la base aérea del sur.

#### 3.3.1. Población de la base aérea del sur.

Según información proporcionada por las autoridades de la Base aérea del sur, la población es de 500 personas que constituyen el personal militar.

### 3.3.2. Fuente de abastecimiento.

El sistema de abastecimiento de agua potable está distribuido de la siguiente manera: un 10 % es abastecido por un pozo mecánico de 30 m de profundidad, el cual posee una bomba sumergible de 5 HP; opera manualmente llevando agua hasta un tanque elevado por medio de una tubería de conducción de PVC de 4" de diámetro. El tanque elevado es metálico y tiene una capacidad de 75 000 litros. El restante 90% es abastecido por la red municipal de agua potable de Retalhuleu por medio de una tubería de PVC de 3" de diámetro. Actualmente el agua no recibe ningún tipo de desinfección, anteriormente se contaba con un sistema de cloración, el cual no funciona.

### 3.3.3. Consumo de agua potable.

Se requiere de un promedio de 13 horas de servicio para el abastecimiento del agua potable, haciendo un caudal medio de **1.91 lts/seg**. Según este caudal, la población y el número de horas de servicio al día, se tiene una dotación de **177,78 lts/hab/día**. En la tabla 3.11 se tiene un resumen del abastecimiento de agua potable.

<b>Cuadro 3.11 Datos de agua potable</b>	
Personal militar (hab.)	500
Personal de diseño (hab.)	1 000
Dotación (lts/hab/día)	178.77
Caudal medio diario (lt/seg)	1.91
Taque de agua (unid.)	1+ Red Municipal
Volumen suministrado al día (m <sup>3</sup> )	7 500
Horas de consumo	13 hrs.
Horario de muestreo	06.00 A 18.00 hrs.
Método de aforo	Volumétrico
Caudal máximo horario (Q.M.H.)	1.93 lt/seg
Caudal máximo diario (Q.M.D.)	1.82 lt/seg
Factor de hora máxima (F.H.M.)	1.27
Factor de día máximo (F.D.M.)	1.2
Factor de retorno	0.796 = 79.60%

### 3.3.4 Análisis del sistema de las aguas residuales en las lagunas de estabilización

<b>Cuadro 3.12 Datos hidráulicos de las Lagunas</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Laguna Primaria</b>	<b>Laguna Secundaria</b>	<b>Laguna Terciaria</b>
Relación largo / ancho	1.25	2.00	2.00
Área	3525.27 M2	1216.38 M2	1301.43 M2
Altura inicial de retención del sistema	1.00 M.	1.00 M.	1.00 M.
Altura de lodos actual	0.05 M.	0	0
Volumen inicial del sistema	3659.08	1298.41	1387.23
Volumen actual del sistema	3659.08 M3	1298.41 M <sup>3</sup>	1387.23 M <sup>3</sup>
Caudal de entrada	1.52 lts/s.	0	0
Periodo de retención actual del sistema	51 DIAS	18 DIAS	19 DIAS

<b>Cuadro 3.13 Datos estadísticos del caudal de aguas negras</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Entrada</b>
Media aritmética	1.52 lt/seg
Mediana	0 lt/seg
Moda	0 lt/seg
Intervalo de relación	0 lt/seg

<b>Cuadro 3.14 Caudal de aguas negras y su variación</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Entrada</b>
Caudal medio diario (Q.Med)	1.52 lt/seg
Caudal máximo puntual	2.33 lt/seg
Caudal mínimo Puntual	0.55 lt/seg

## 3.4. Análisis general de la Escuela Politécnica.

### 3.4.1. Población de la Escuela Politécnica.

Según información proporcionada por las autoridades de la Escuela Politécnica, la población es de 878 personas que constituyen el personal militar y estudiantes para cadetes.

### 3.4.2. Fuente de abastecimiento.

El sistema de abastecimiento de agua potable está distribuido por 3 pozos, 2 de los cuales tienen una profundidad de 500 pies, el otro de 580 pies. Consta de una bomba de 15 HP de fuerza y la línea de conducción es de PVC de 4" de diámetro.

El tanque principal de abastecimiento es de 500 m<sup>3</sup> de capacidad<sup>7</sup>. Actualmente el agua recibe desinfección por medio de un sistema de cloración.

### 3.4.3. Consumo de agua potable.

El servicio de abastecimiento de agua potable es continuo las 24 horas; siendo el caudal medio diario de **3.74 lts/seg.**, con un tiempo de uso de 15 horas diarias. Según el dato anterior, más la población, y el número de horas de servicio al día, se tiene una dotación de **230 Lts/hab/día**. En la tabla 3.16 se tiene un resumen del abastecimiento de agua potable.

<b>Cuadro 3.15 Datos de agua potable</b>	
Personal militar (hab.)	878
Dotación (lts/hab./día)	230
Caudal medio diario (lt/seg.)	3.74
Taque de agua (unid.)	1
Volumen suministrado al Día (m <sup>3</sup> )	500
Horas de consumo	15 hrs.
Horario de muestreo	06.00 A 18.00 hrs.
Método de aforo	Volumétrico
Factor de hora máxima (F.H.M.)	1.32
Factor de día máximo (F.D.M.)	1.40
Factor de retorno	0.53 = 53%

---

<sup>7</sup> Fuente: Guillermo Ovalle. Evaluación de las condiciones físicas y de operación en la laguna de estabilización de la Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Tesis de Graduación. Año 2003.

### 3.4.4 Análisis del sistema de las aguas residuales en la laguna de estabilización.

<b>Descripción</b>	<b>Laguna Primaria</b>
Dimensiones (mts.)	25 X 60 X 2
Área	1500 M <sup>2</sup>
Altura inicial de retención del sistema	2.00 M.
Altura actual de retención	0.70 M.
Altura de lodos actual	0.25 M.
Volumen inicial del sistema	2076 M <sup>3</sup>
Caudal de entrada	1.97 lts/s.
Periodo de retención actual del sistema	12 DIAS

### 3.5. Datos técnicos de las plantas en estudio.

<b>Descripción</b>	<b>Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Caudal de salida (m<sup>3</sup>/día)</b>
Base militar de Jutiapa	325.73	163.30
Colonia militar de Jutiapa	56.16	54.03
Base aérea del sur	131.33	0.00
Escuela Politécnica	170.21	111.46



**CAPÍTULO IV**  
**LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**  
**PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO Y MEDIDAS CORRECTIVAS**

**4.1. Base militar No. 10 de Jutiapa.**

**4.1.1. Condiciones de las obras de pretratamiento.**

Debido a que las 8 fosas sépticas se encuentran enterradas a 0.50 metros del nivel del suelo, fue imposible verificar el estado actual de los materiales, pantallas y altura de los sólidos sedimentables de las mismas. También fue imposible verificar el estado de las 3 trampas de grasa.

**4.1.2. Condiciones de las estructuras de entrada, interconexión y salida.**

La estructura de entrada no cuenta con un medidor de caudal, en este caso se utilizó un vertedero triangular. No ha contado con operación y mantenimiento. Las fallas existentes en la estructura de entrada, interconexión y salida de las lagunas son: grietas en las paredes laterales, mucha basura y piedras dentro de las estructuras, ninguna a tenido operación y mantenimiento. La estructura de salida no cuenta con un medidor de caudales, colapso total de la pared lateral derecha e izquierda.

**4.1.3. Condiciones de los taludes.**

Los taludes interiores de todas las lagunas tienen una relación de 1:3, hechos de piedra bola y cemento; en sus juntas crece monte y plantas acuáticas. Los taludes exteriores están en buenas condiciones; existe basura tirada en los taludes exteriores.

#### **4.1.4. Condiciones de las lagunas de estabilización.**

La laguna primaria tiene un pequeño montículo (después de la entrada) por la acumulación de lodos. Está proliferando monte en los taludes interiores. En las esquinas de la misma se concentra la mayor parte de basura y monte, que puede llegar a obstaculizar las estructuras de interconexión. La laguna secundaria, y terciaria se encuentran en la misma condición que la primaria, además no han contado con operación y mantenimiento (**figura 4.1**).



**Figura 4.1** Deterioro parcial del sistema lagunar de la base militar de Jutiapa

## **4.2. Colonia militar de Jutiapa.**

### **4.2.1. Condiciones de las obras de pretratamiento.**

La condición de las tuberías es buena, no existen taponamientos aunque un poco de sedimentos en los pozos de visita.

### **4.2.2. Condiciones de los taludes.**

Los taludes de las lagunas de estabilización están en bueno estado en la parte recubierta por concreto ciclópeo. Solo la parte exterior se encuentra erosionada por el viento y el agua. Existe acumulación de hojas y ramas de árboles y basura (plástico, botes de metal, vidrio, etc.).

#### **4.2.3. Condiciones de las estructuras de entrada, interconexión y salida.**

Las condiciones del canal de entrada son pésimas, se encuentra saturada de lodo. La estructura de interconexión se encontraba llena de maleza en los alrededores; los muros que la conforman están en buenas condiciones, su recubrimiento y verticalidad están intactos. Las condiciones de la estructura de salida no son mejores, está llena de basura y maleza. El tubo de salida de 8" de diámetro está completamente azolvado. Todas las estructuras no tienen mantenimiento.

#### **4.2.4. Condiciones de las lagunas de estabilización.**

El color del agua es verde oscuro, la laguna se encuentra saturada en sus esquinas con materia orgánica principalmente hojas de árboles, arbustos secos y basura. Alrededor de la laguna primaria existen 7 árboles de sauce, donde sus raíces deforman los taludes.

El agua de la laguna se extrae por bombeo y se utiliza para regar las siembras que están a su alrededor, variando las condiciones iniciales de tratamiento y diseño de la planta. La laguna secundaria tiene acumulación de maleza en los alrededores de la misma, así como la acumulación de raíces del árbol de sauce ubicado en las cercanías de la estructura. Asimismo en las orillas de la esta laguna hay una acumulación de basura, que empeora las condiciones de la misma (**figura 4.2 y 4.3**).

#### **4.2.5. Estado actual del canal de lluvia.**

Alrededor de todo el canal se encuentra maleza, y dentro de el hay acumulación de tierra, impidiendo la conducción de las aguas pluviales. Se puede notar a lo largo del canal de lluvia, grietas y vencimiento de taludes.



**Figura 4.2 y 4.3** Deterioro parcial del sistema lagunar de la colonia militar. Estructura de salida y laguna primaria respectivamente.

#### **4.3. Base aérea del sur en Retalhuleu.**

Hace ya algunos años que el sistema de lagunas no está en funcionamiento, por tal motivo el deterioro es mayor (**figura 4.4 y 4.5**). En general el pretratamiento que tienen las aguas residuales consiste únicamente en una fosa séptica para la cochiguera, no cuenta con una canal de rejillas para los sólidos. Los taludes de las lagunas, las estructuras de interconexión, tuberías y canales, necesitan reparaciones mayores para poder echar andar el sistema.



**Figura 4.4 y 4.5.** Deterioro parcial del sistema lagunar de la base aérea del sur, en Retalhuleu. Laguna secundaria y terciaria respectivamente.

#### 4.4. Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez.

La Escuela Politécnica cuenta únicamente con una sola laguna de estabilización, que por su gran tamaño y período de retención funciona como una laguna facultativa. Los problemas que se pueden detallar en este sistema es la falta de mantenimiento en general, limpieza de tuberías de ingreso y salida, eliminación de maleza, árboles y plantas acuáticas dentro de la laguna (**figura 4.6 y 4.7**).



**Figura 4.6 y 4.7** Deterioro parcial del sistema lagunar de la Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez.

#### **4.5. Medidas correctivas para la base militar No. 10 de Jutiapa.**

##### **4.5.1. Obras de pretratamiento.**

El mantenimiento que se les debe dar a las obras de pretratamiento es el siguiente:

- Inspeccionar las condiciones físicas de las fosas sépticas cada 6 meses, verificando los materiales de construcción (ladrillo, concreto y revestimiento de impermeabilización), compartimiento de acceso a las fosas sépticas y las pantallas difusoras de entrada y salida.
- Extracción de lodos de las fosas sépticas cada año, teniendo en cuenta que la disposición de los mismos debe ser en zanjas de por lo menos 60 cm. de profundidad, la cual debe estar ubicada a 50 metros al lado de la laguna secundaria de la base militar y enterrarlos. La extracción se puede realizar por medio de cubos de inmersión provistos de un mango largo y palas, o por medio de un equipo especial de bombeo de lodos.
- Inspección mensual de las condiciones físicas de cada una de las trampas de grasa, verificando los materiales de construcción, extracción de las grasas de las mismas, las cuales serán dispuestas en el mismo lugar que los desechos de las fosas sépticas.

##### **4.5.2. Estructuras de entrada, interconexión y salida.**

Las correcciones que se deben de realizar a la obra civil son:

- Elaboración de dos vertederos de madera de 1" espesor, de sección triangular desmontable, cuyas dimensiones son de 0.40 m. de alto y 0.60 m. ancho, con un abertura triangular de 90° para la medición de caudales en la entrada y salida de las lagunas, y así poder llevar un registro diario de caudales.

- Elaboración de un rejillas desmontables de 0.60 m. de ancho y 1.00 m. de alto, de hierro hembra de ½” x 1¼” a cada 0.03 metros, con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal.
- Remoción de los angulares oxidados de las estructuras de entrada, y elaboración de angulares de aluminio de 1”x1”x1/8”, que servirán de sostén para el vertedero triangular y las rejillas diseñadas.
- Resanar todas las grietas en las estructuras con sabieta de cemento y arena con una proporción de 1:6 y a su vez impermeabilizar todas las áreas descubiertas; hacer nuevo levantado en estructura de salida.
- Para poder trabajar en seco en cada una de las estructuras de entrada, interconexión y salida, se deben de construir un sistema de tubería complementario al actual, por medio de tubería de concreto de 16” (aproximadamente 355 metros lineales), con la ayuda de 6 compuertas de paso, hechas de metal de 0.50 x 0.55 metros de 1/8” de espesor y 7 cajas de unión, las cuales nos ayudaran a dirigir el caudal a una estructuras independiente, permitiendo así tener un área de trabajo seca, para realizar las actividades de mantenimiento y reparación.

#### **4.5.3. Protección a taludes.**

Las correcciones que se deben realizar a los taludes de las lagunas de estabilización son:

- Eliminar las plantas que están creciendo en las juntas de unión de los taludes de protección, ya que las mismas provocan levantamiento y destrucción en los taludes.
- Nivelar las pendientes de los taludes la cual es de 1:3.
- Revestir con sabieta las áreas erosionadas de los taludes de protección.

#### **4.6. Medidas correctivas colonia militar de Jutiapa.**

##### **4.6.1. Estructuras de entrada, interconexión y salida.**

La estructura de entrada tiene una abertura que fue hecha para medir caudales; para la misma se recomienda que se selle por medio de ladrillo tayuyo colocado en forma de soga, unidos con mortero de cemento en proporción 1:3 y dándole un recubrimiento de 1 centímetro de espesor con sabieta de la misma proporción.

Para reestablecer la verticalidad del muro de la estructura de entrada se recomienda que se realice una excavación de 0.50 metros alrededor del talud derecho y una profundidad de 1.50 metros con el fin de lograr estabilizar el suelo que allí se encuentra, ello se puede hacer por medio de la utilización de material selecto colocado en capas de 10 centímetros de espesor y compactado hasta alcanzar una reducción de vacíos en un 95 %. La estructura de interconexión se encuentra en buenas condiciones por lo tanto, no hay que realizarle mantenimiento correctivo. Las condiciones de la estructura de salida son buenas, solo se le debe realizar una extracción de lodos acumulados en ella.

##### **4.6.2. Medidores de caudal.**

Para la medición del caudal que ingresa a la estructura de entrada se propone el diseño de un vertedero de madera desmontable, las medidas de dicho vertedero son las siguientes: 25 centímetros de altura y 60 centímetros de base, la madera que se utilizará será pino de 1" de espesor, el vertedero debe de ser triangular ya que es la forma más fácil para medir las alturas y calcular el caudal. La colocación de estos vertederos debe de ser en la entrada y salida del sistema. El vertedero desmontable se sujetará a la estructura por medio de angulares de hierro fundido de 1"\*1"\*1/8" los cuales deberán instalarse en la estructura cuando se le esté dando el mantenimiento correctivo a la laguna primaria y se esté en condiciones secas de trabajo.

#### **4.6.3. Protección de los taludes.**

Dentro del mantenimiento correctivo que debe dársele a los taludes tenemos:

- Corrección de la pendiente de los taludes sobre todo cerca de la estructura de salida en la laguna secundaria, con una pendiente de relación 1:3 que tenían originalmente.
- Eliminación de los árboles que se encuentran situados cerca del coronamiento de los taludes (algunos con raíces metidas en los mismos) ya que ello provoca que se acumulen mosquitos transmisores de enfermedades así como la socavación en la parte superior de los taludes.

#### **4.6.4. Lagunas de estabilización.**

Dentro del mantenimiento correctivo que debe dársele a las lagunas, se encuentra la extracción de lodos, además de la limpieza de natas sobre la superficie de las lagunas.

#### **4.6.5. Línea de desfogue.**

Para poder reactivar la planta de tratamiento de aguas negras es necesario e indispensable en primer lugar darle mantenimiento correctivo a la línea de desfogue.

- Eliminar la maleza que se ha acumulado alrededor de la tubería de salida en el río Amayito por medio del chapeo.
- Revisar los pozos de visita, por medio del ingreso de personal especializado. El mismo debe encargarse de realizar una limpieza de las tuberías de conexión y verificar si están en buenas condiciones o no.
- Si la tubería está en malas condiciones se debe proceder al cambio de la misma con tubería PVC de 8", manteniendo la pendiente original en cada uno de los tramos así como realizando una compactación alrededor de la tubería utilizando material selecto en capas de 10 centímetros.

- Extraer basura, sedimentos y agua estancada que se encuentra en los pozos de visita por medio de la utilización de bombas, palas y cubetas.

#### **4.7. Medidas correctivas base aérea del sur, en Retalhuleu.**

##### **4.7.1. Alcantarillado que conduce a las lagunas.**

Se eliminará el material depositado en las cajas de registro, para dejar completamente limpio el canal del fondo. Es necesario que el tubo de concreto colocado verticalmente y que sirve de caja de registro, esté por lo menos a 0.15 m por encima del suelo, para evitar que ingrese tierra a la estructura y que cause obstrucciones, asimismo evitar que ingresen aguas de escorrentía que puedan aumentar el caudal que llega a las lagunas de estabilización y aumenten la cantidad de arena. Las tapaderas tendrán un espesor de 0.07 m y con un armado de varillas de 3/8" a cada 0.20 m en ambos sentidos utilizando acero grado 40.

##### **4.7.2. Tuberías.**

Toda tubería de PVC de ingreso e interconexión, que en el futuro sea reemplazada, deberá cumplir con la norma ASTM D-3033/3034 (tubería para drenajes) y no se colocarán tuberías que son propias para bajadas de agua pluvial, como se ha colocado en algunos sectores anteriormente.

##### **4.7.3. Rejas.**

La ubicación de las rejas, debe ser antes del desarenador, para proporcionar el primer tratamiento. Se utilizarán barras de acero de sección 1" x 3/16" (sección hembra) soldadas a un angular de 1" x 1" x 3/16" en la parte superior y a una sección de 1" x 3/16" en la parte inferior. La separación libre entre barras será de 0.02 m (2 cm) y se colocarán con un ángulo de inclinación de 30° con respecto a la vertical.

Se diseñará un canal de acceso, con una sección apropiada para controlar la velocidad de aproximación a la reja y facilitar su limpieza. El ancho para el canal será de 0.50 m, para facilitar el ingreso del rastrillo para la limpieza de las rejillas. La longitud de la estructura será 1.60 m, con lo cual se tiene una relación  $L/A > 3$ . Para evitar que ingresen basuras y partículas del suelo al canal, la estructura estará a 0.30 m arriba del nivel del suelo.

#### **4.7.4. Remoción de lodos y material depositado.**

El lodo seco y el material depositado en las orillas de la laguna primaria se deberán remover antes de su puesta en operación. En la laguna secundaria se extraerá el material depositado en las orillas, provenientes de los diques, quedando los niveles del fondo de la laguna.

#### **4.7.5. Disposición de las lagunas.**

Por los altos períodos de retención que presentan las lagunas, se hace suficiente el tratamiento en las lagunas primaria y secundaria, teniéndose un período de retención total de 69 días para ambas lagunas, por lo que la laguna terciaria se puede utilizar para actividades de mantenimiento, para no tener que parar el tratamiento cuando se realicen reparaciones o limpiezas. El período de retención no es el único parámetro que interviene en la eficiencia de una laguna, pero es el más importante, y como las lagunas no están funcionando la disposición de estas se hace basándose en el período de retención.

Por tanto, se debe hacer funcionar, las lagunas primaria y secundaria, atendiendo a las medidas de corrección y mejoras que se proponen, además deberá construirse un by-pass, para desviar el agua residual hacia la laguna terciaria y que sirva para los futuros procedimientos de mantenimiento, de tal forma que no se interrumpa el tratamiento.

#### **4.7.6. Diques.**

Por la consolidación a través del tiempo de los diques, no es necesario reconformar sus taludes, por lo que únicamente será necesario protegerlos de los agentes físicos como el viento y la lluvia, y de la erosión que provocan los movimientos del agua dentro de la laguna en la parte húmeda del talud. Los árboles existentes en los diques deberán ser eliminados, para evitar problemas en el funcionamiento de las lagunas y obstrucciones para transitar sobre los diques. Por cada árbol cortado se deberá proceder a sembrar un mínimo de 5 árboles en un sector ajeno al de las lagunas. Cualquier agujero que exista en los diques, ocasionado por los roedores, deberá ser rellenado y compactado apropiadamente.

#### **4.7.7. Protección de los taludes.**

Se reconstruirá los sectores dañados del revestimiento de piedra bola, para proteger los taludes de los diques de las lagunas y evitar que los movimientos del agua causen erosión en el talud. Se colocará la piedra bola sobre el talud, aplicando mortero entre sus unidades en proporción volumétrica 1:3, además se aplicará un recubrimiento al empedrado de espesor mínimo de 1.5 cms para tener una superficie uniforme en su contorno. En su parte seca, el talud tendrá grama con lo cual se evitará la erosión eólica y de las aguas de escorrentía sobre el dique, evitando por consiguiente acumulación de material en el fondo de la laguna, brindando además un aspecto estético.

#### **4.7.8. Estructura de entrada, interconexión y salida.**

El desarenador deberá ser limpiado, extrayendo toda el agua, arena y sedimentos acumulados, antes de proceder a realizar las reparaciones. La estructura de entrada, se repellará con sabieta en proporción 1:2 (cemento y arena de río) y se realizará un alisado interior con cemento para impermeabilizarla.

La estructura que sustenta la tubería que ingresa a la laguna primaria deberá reconstruirse, utilizando concreto en proporción 1:2:3 (cemento, arena de río y piedrín), sobre la cual se colocará una tubería de PVC de 6" de diámetro, que cumpla con la norma ASTM D-3033/3034 (tubería para drenaje), recubierta para aumentar su durabilidad y evitar que se destruya, de tal forma que la estructura en el fondo de la laguna cubra por completo la tubería.

En la estructura de interconexión, se necesita reparar los vertederos rectangulares de concreto reforzado. Al igual que la estructura de entrada se aplicará un nuevo repello a toda la estructura con sabieta de igual proporción, con un recubrimiento mínimo de 1 cm y alisado interior. Se reemplazarán las tuberías de interconexión, colocando tuberías de PVC de 6" de diámetro que cumplan con la norma ASTM D-3033/3034 (tuberías para drenaje), colocadas con la orientación actual y en forma sumergida, adentrándose una longitud de 15 m desde la base del talud.

La actual estructura de salida, al igual que las estructuras de entrada e interconexión se le aplicará un nuevo repello con sabieta y un recubrimiento mínimo de 1 cm, dicha estructura servirá a la laguna terciaria para realizar las labores de mantenimiento. Se reemplazará la tubería de salida que va al quinel, colocando tubería de PVC de 6" de diámetro que cumplan con la norma ASTM D-3033/3034 (tuberías para drenaje), colocada con la orientación actual.

#### **4.8. Medidas correctivas de la Escuela Politécnica, en San Juan Sacatepéquez.**

Actividades para eliminar los problemas de funcionamiento en la laguna, en los cuales requiere lo siguiente:

- Construir un canal de rejas y las rejillas con las mismas dimensiones dadas para la base militar y colonia militar; ésta unidad puede ser colocada después de la última caja de registro antes de entrar a la laguna.
- Construir un desarenador con las dimensiones determinadas en las tesis de Graduación de los Ingenieros Herbert Mauricio López Morales, Denys Estuardo Motta Rodas y Sergio Jehovani Morales Estrada.
- Limpiar tuberías de entrada y salida de la laguna.
- Construir una estructura de salida.
- Construir 2 vertedero triangulares para la entrada y salida de la laguna con las dimensiones establecidas en las tesis de graduación anteriormente escritas.

En anexos se puede ver los costos aproximados que representa restaurar las condiciones originales de los cuatro sistemas lagunares en las bases militares del Ejército de Guatemala; se dispone un costo construyendo muro perimetral y caseta o bodega para equipo y herramienta junto con guardianía, y el otro no cuenta el muro ni la bodega, únicamente aparece el mantenimiento correctivo para su operación y mantenimiento preventivo.

En el anexos de “Manual de Operación y Mantenimiento”, se puede encontrar el complemento a las actividades de operación y mantenimiento descritas en este capítulo, acompaña este trabajo un CD en el cual hay una galería de fotografías donde se aprecia con mayor detalle otros problemas de los sistemas lagunares.

## CAPÍTULO V

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA CALIDAD DEL AGUA

#### **5.1. Fase inicial de investigación.**

Esta fase consistió en la recopilación de información para el fundamento del trabajo y además permitiera elaborar el Plan de investigación. La información contó con aspectos sobre investigaciones realizadas anteriormente, unidades físicas que la conforman y procesos que ocurren en cada una de ellas, y otros. Para el marco teórico se hizo necesario considerar los parámetros mínimos que se deben incluir en laboratorio, así como los puntos específicos de muestreo adecuados, de tal forma que sean representativos del proceso que se realiza en cada unidad.

#### **5.2. Fase de campo.**

La fase de campo se realizó de acuerdo a los siguientes puntos:

##### **5.2.1. Selección de los puntos de muestreo.**

Criterio de selección de los puntos de muestreo:

- Que el punto de muestreo permita que la muestra tomada sea representativa del proceso que se genera en cada unidades que conforma el sistema de tratamiento.
- Que el punto de muestreo sea de fácil acceso para determinar su ubicación posterior;
- Que el punto de muestreo se ubique, estratégicamente cerca a las unidades del proceso.

Los puntos de muestreo en el cuadro 5.1 (ver en anexo 1 planos de los puntos de muestreo) se distribuyen de la siguiente manera:

<b>Cuadro 5.1 Puntos de muestreo y número de muestras</b>			
<b>Puntos de muestreo</b>			
<b>Base militar de Jutiapa.</b>	<b>Colonia militar de Jutiapa.</b>	<b>Base aérea del sur, Retalhuleu.</b>	<b>Escuela Politécnica, San Juan Sacatepéquez.</b>
Ingreso a laguna 1	Ingreso a laguna 1	Pozo antes de ingreso a laguna 1	Ingreso a laguna
Salida de laguna 1	Salida de laguna 1		Salida de laguna
Salida de laguna 2	Salida de laguna 2		
Salida de laguna 3			
<b>Número de muestras</b>			
3	3	2	4
Durante el tiempo de muestreo se procedió a tomar la temperatura de las muestras, así como la temperatura ambiente.			

### 5.2.2. Toma de muestras.

Las muestras fueron tomadas durante los meses de marzo, mayo, agosto y octubre del 2,003 (**figura 5.1 y 5.2**). La toma de las muestras fueron compuestas de 4 horas consecutivas. Las muestras compuestas tomadas para efectuar el análisis bacteriológico se tomaron a la misma hora (**figuras 5.3 y 5.4**). Todas las muestras fueron trasladadas al laboratorio inmediatamente después de concluida su toma.



**Figura 5.1** Toma de muestras para análisis microbiológico en las lagunas de estabilización



**Figura 5.2** Toma de muestras para análisis físico-químico en las lagunas de estabilización



**Figura 5.3** Análisis microbiológico, Laboratorio de Química y Microbiología



**Figura 5.4** Determinación de pruebas confirmativas con tubos múltiples de fermentación.

### 5.2.3. Aforo.

Para determinar los caudales que entran y salen de las plantas, se procedió a utilizar el método volumétrico (**Figura 5.5**) a excepción de la entrada de la base militar de Jutiapa en la cual se utilizó un vertedero, utilizando para ello la caja que conforma el canal de ingreso y una cubeta plástica de 18.90 litros (5 galones). Las mediciones de caudales fueron realizadas por estudiantes de Pregrado de la facultad de Ingeniería de la USAC, en un horario de 06:00hrs a 18:00hrs.



**Figura 5.5** Aforo Volumétrico en el punto de la base aérea del sur

### **5.3. Fase de laboratorio.**

Las características químicas y biológicas del agua residual fueron determinadas en el laboratorio de acuerdo a los estándares utilizados en el Laboratorio de Química y Microbiología de la Facultad de Ingeniería.

#### **5.3.1 Análisis físico químico realizado.**

Determinación de nitratos, nitritos, oxígeno disuelto, pH, sólidos sedimentables y suspendidos, fosfatos, Demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

#### **5.3.2. Análisis bacteriológico.**

Para la realización de este examen se utilizó el método de los tubos de fermentación de dilución múltiple, tanto para la determinación de coliformes totales como fecales. Para lo cual se utilizaron diluciones de  $1 \times 10^{-4}$  hasta  $1 \times 10^{-11}$ , para posteriormente ser inoculado en los tubos de cultivo con caldo lactosado (para prueba Presuntiva), como en los que contenían Verde Brillante y E.C. (para Prueba Confirmativa de coliformes totales y fecales, respectivamente).

## **5.4. Recursos Utilizados.**

### **5.4.1. Humanos.**

Representados por dos estudiantes investigadores, asesores, personal operativo y administrativo del laboratorio de química y microbiología sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (**figura 5.6**).



**Figura 5.6** Recursos humanos y físicos utilizados en el estudio

### **5.4.2 Físicos.**

Envases plásticos de 3.78 litros, probeta de 1,000cc., termómetro de látex, frasco de vidrio con tapón esmerilado de 100cc., probeta de 20cc., cubeta plástica de 18,90litros, cristalería de laboratorio, incubadora para DBO, espectrofotómetro DR/200 Marca Hach, espectrofotómetro de llama rector para DQO, refrigeradora, incubadora para medios de bacteriológicos, reactivos, libreta, calculadora y computadora.

### **5.4.3 Determinación de las áreas de trabajo.**

Realizando visitas de campo a las zonas militares del ejército de Guatemala, se propusieron para el desarrollo del estudio las siguientes: base militar de Jutiapa, colonia militar de Jutiapa, Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez y base aérea del sur en Retalhuleu.



## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1. Resultados de los parámetros físico-químicos estudiado y porcentajes de remoción.

##### 6.1.1. Base militar de Jutiapa.

Parámetros Físico-Químico	Fecha 11 de marzo 2003						
	PUNTOS DE MUESTREO				EFICIENCIA (% REMOCION)		
	P1	P2	P3	P4	Laguna 1 (P1 - P2)	Laguna 2 (P2 - P3)	Laguna 3 (P3 - P4)
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	1.70	0.30	0.30	ND	82.35	ND	100.00
Sólidos Suspensión (mg/l)	24	192	96	88	-700 *	50	8.33
Nitratos (mg/l)	52.50	80.60	29.30	41.70	-53.52 *	63.65	-42.32 *
DQO (mg/l)	311	129	223	248	58.52	-72.87 *	-11.21 *
DBO5 (mg/l)	165	39.40	16.90	8.40	76.12	57.11	50.30
Nitritos (mg/l)	0.05	0.06	0.03	0.02	-20.83 *	56.90	32
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Parámetros Físico-Químico	Fecha 25 de marzo 2003						
	PUNTOS DE MUESTREO				EFICIENCIA (% REMOCION)		
	P1	P2	P3	P4	Laguna 1 (P1 - P2)	Laguna 2 (P2 - P3)	Laguna 3 (P3 - P4)
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	4	0.03	ND	ND	99.25	100	
Sólidos Suspensión (mg/l)	32	128	152	104	-300 *	-18.75 *	31.58
Nitratos (mg/l)	18.80	30.50	24.50	8.00	-62.23 *	19.67	67.35
DQO (mg/l)	204	243	190	170	-19.12 *	21.81	10.53
DBO5 (mg/l)	183	50.60	45	28.10	72.35	11.07	37.56
Nitritos (mg/l)	0.10	0.43	0.06	0.07	-313.46 *	87.21	-27.27 *
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pH (u)	6.87	9.11	9.17	6.81	7.99 **	9.14 **	7.99 **

- \* Los valores con signo negativo (-), representan incremento en el proceso.  
 \*\* Valores promedios de los parámetros.  
 ND Valores no detectados

Parámetros Físico-Químico	Fecha 13 de octubre 2003						
	PUNTOS DE MUESTREO				EFICIENCIA (% REMOCION)		
	P1	P2	P3	P4	Laguna 1 (P1 - P2)	Laguna 2 (P2 - P3)	Laguna 3 (P3 - P4)
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	ND	ND	ND	ND			
Sólidos Suspensión (mg/l)	48	16	8	4	66.67	50	50
Nitratos (mg/l)	55	26.40	24.20	17.60	52	8.33	27.27
DQO (mg/l)	235	49	58	38	79.15	-18.37 *	34.48
DBO5 (mg/l)	180	70	50	60	61.11	28.57	-20.00 *
Nitritos (mg/l)	0.02	0.03	0.06	0.07	-36.84 *	-111.54 *	-30.91 *
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.60	2	4.80	1.80	1.3 **	3.4 **	3.3 **
pH (u)	6.71	7.91	7.82	8.54	7.31 **	7.87 **	8.18 **
Fosfatos (mg/l)	0.175	2.46	1.25	1.15	-1305.71 *	49.19	8

### 6.1.2. Colonia militar de Jutiapa.

Parámetros Físico-Químico	Fecha 11 de marzo 2003				
	PUNTOS DE MUESTREO			EFICIENCIA (% REMOCION)	
	P1	P2	P3	Laguna 1 (P1 - P2)	Laguna 2 (P2 - P3)
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	1.70	2	0	-17.65 *	100
Sólidos Suspensión (mg/l)	28	136	104	-385.71*	23.53
Nitratos (mg/l)	26.50	17.20	15.40	35.09	10.47
DQO (mg/l)	328	268	250	18.29	6.72
DBO5 (mg/l)	70	50.60	50	27.71	1.19
Nitritos (mg/l)	0.09	0.48	0.01	-435.96 *	97.69
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND

Parámetros Físico-Químico	Fecha 25 de marzo 2003				
	PUNTOS DE MUESTREO			EFICIENCIA (% REMOCION)	
	P1	P2	P3	Laguna 1 (P1 - P2)	Laguna 2 (P2 - P3)
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	0.01	0.02	1.20	-100 *	-5900 *
Sólidos Suspensión (mg/l)	16	136	160	-750 *	-17.65 *
Nitratos (mg/l)	9.10	16.50	2	-81.32 *	87.88
DQO (mg/l)	92	271	329	-194.57 *	-21.40 *
DBO5 (mg/l)	53.50	76	100	-42.06 *	-31.58 *
Nitritos (mg/l)	0.04	0.10	0.10	-138.10 *	0
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND
pH (u)	7.40	9.13	9.16	8.27 **	9.15 **

\* Los valores con signo negativo (-), representan incremento en el proceso.

\*\* Valores promedios de los parámetros.

ND Valores no detectados

Parámetros Físico-Químico	Fecha 13 de octubre 2003				
	PUNTOS DE MUESTREO			EFICIENCIA (% REMOCION)	
	P1	P2	P3	Laguna 1 (P1 - P2)	Laguna 2 (P2 - P3)
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	ND	ND	ND		
Sólidos Suspensión (mg/l)	8	12	4	-50 *	66.67
Nitratos (mg/l)	74.80	37.40	8.80	50	76.47
DQO (mg/l)	128	76	46	40.63	39.47
DBO5 (mg/l)	110	60	31	45.45	48.33
Nitritos (mg/l)	0.02	0.01	0.02	75.00	-340.00 *
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0	4.20	2.80	2.10 **	3.50 **
pH (u)	7.44	8.63	8.71	8.04 **	8.67 **
Fosfatos (mg/l)	7.15	1.93	1.19	73.01	38.34

### 6.1.3. Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez.

Parámetros Físico-Químico	Fecha 13 de marzo 2003		
	PUNTOS DE MUESTREO		EFICIENCIA (% REMOCION)
	P1	P2	P1 - P2
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	3.50	0.10	97.14
Sólidos Suspensión (mg/l)	184	40	78.26
Nitratos (mg/l)	23.60	9.10	61.44
DQO (mg/l)	410	40	90.24
DBO5 (mg/l)	288	40	86.11
Nitritos (mg/l)	0.15	0.05	68
pH (u)	6.61	7.61	7.11 **

Parámetros Físico-Químico	Fecha 20 de marzo 2003		
	PUNTOS DE MUESTREO		EFICIENCIA (% REMOCION)
	P1	P2	P1 - P2
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	2.50	0.20	92
Sólidos Suspensión (mg/l)	72	16	77.78
Nitratos (mg/l)	25.50	13.60	46.67
DQO (mg/l)	461	173	62.47
DBO5 (mg/l)	310	35	88.71
Nitritos (mg/l)	0.13	0.12	11.28
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND	ND
pH (u)	6.84	7.31	7.08 **

\* Los valores con signo negativo (-), representan incremento en el proceso.

\*\* Valores promedios de los parámetros.

ND Valores no detectados

Parámetros Físico-Químico	Fecha 30 de abril 2003		
	PUNTOS DE MUESTREO		EFICIENCIA (% REMOCION)
	P1	P2	P1 - P2
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	4.50	1.50	66.67
Sólidos Suspensión (mg/l)	232	72	68.97
Nitratos (mg/l)	34	7.80	77.06
DQO (mg/l)	440	50	88.64
DBO5 (mg/l)	295	40	86.44
Nitritos (mg/l)	0.11	0.06	42.99
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0	2.80	1.4 **
pH (u)	7.14	7.25	7.20 **

Parámetros Físico-Químico	Fecha 18 de agosto 2003		
	PUNTOS DE MUESTREO		EFICIENCIA (% REMOCION)
	P1	P2	P1 - P2
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	13	0	100
Sólidos Suspensión (mg/l)	372	20	94.62
Nitratos (mg/l)	46.90	1.30	97.23
DQO (mg/l)	518	92	82.24
DBO5 (mg/l)	120	50	58.33
Nitritos (mg/l)	0.33	0.02	94.89
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND	ND
pH (u)	7.25	7.26	7.26 **
Fosfatos (mg/l)	30.75	11.75	61.79

#### 6.1.4. Base aérea del sur en Retalhuleu.

Parámetros Físico-Químico	18 de marzo	23 de abril
	Unidades del Tratamiento	
	Entrada	Entrada
Sólidos Sedimentables (cm <sup>3</sup> /l)	0.50	4.50
Sólidos Suspensión (mg/l)	338	76
Nitratos (mg/l)	25.90	9.90
DQO (mg/l)	542	180
DBO5 (mg/l)	330	105
Nitritos (mg/l)	0.13	0.15
Oxígeno Disuelto (mg/l)	ND	ND
pH (u)	6.86	7.06

\* Los valores con signo negativo (-), representan incremento en el proceso.

\*\* Valores promedios de los parámetros.

ND Valores no detectados

## 6.2. Resultado análisis bacteriológico .

### 6.2.1. Base militar de Jutiapa.

Punto de muestreo	11 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.30E+12	4.10E+12
P2	2.50E+11	2.98E+11
P3	1.18E+11	1.18E+11
P4	5.43E+10	6.81E+10
% Remoción Laguna 1	92.74	80.70
% Remoción Laguna 2	60.49	52.77
% Remoción Laguna 3	42.05	54.08
<b>Promedio</b>	<b>65.10</b>	<b>62.52</b>

Punto de muestreo	25 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	4.10E+12	4.10E+12
P2	2.43E+11	6.45E+11
P3	1.30E+11	9.82E+10
P4	5.33E+10	6.65E+10
% Remoción Laguna 1	84.27	94.07
% Remoción Laguna 2	79.79	59.64
% Remoción Laguna 3	49.01	45.72
<b>Promedio</b>	<b>71.02</b>	<b>66.48</b>

Punto de muestreo	13 de octubre 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	4.10E+12	4.10E+12
P2	2.64E+11	2.78E+11
P3	9.01E+10	9.01E+10
P4	0.00E+00	0.00E+00
% Remoción Laguna 1	93.57	93.21
% Remoción Laguna 2	65.84	67.64
% Remoción Laguna 3	100	100
<b>Promedio</b>	<b>86.47</b>	<b>86.95</b>

### 6.2.2. Colonia militar de Jutiapa.

Punto de muestreo	11 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.30E+12	4.55E+12
P2	2.70E+11	1.86E+11
P3	1.43E+11	1.29E+11
% Remoción Laguna 1	79.18	95.91
% Remoción Laguna 2	46.90	30.66
<b>Promedio</b>	<b>63.04</b>	<b>63.29</b>

Punto de muestreo	25 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.19E+12	1.10E+12
P2	2.21E+11	2.17E+11
P3	9.01E+10	9.01E+10
% Remoción Laguna 1	81.39	80.17
% Remoción Laguna 2	59.18	58.55
<b>Promedio</b>	<b>70.28</b>	<b>69.36</b>

Punto de muestreo	13 de octubre 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	4.10E+12	4.10E+12
P2	2.87E+11	2.87E+11
P3	8.75E+10	8.75E+10
% Remoción Laguna 1	92.99	92.99
% Remoción Laguna 2	69.57	69.57
<b>Promedio</b>	<b>81.28</b>	<b>81.28</b>

### 6.2.3. Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez

Punto de muestreo	13 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.61E+14	1.29E+14
P2	3.72E+13	3.20E+13
% Remoción Laguna	76.94	75.28

Punto de muestreo	20 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.01E+14	3.28E+13
P2	2.56E+13	6.65E+12
% Remoción Laguna	74.58	79.76

Punto de muestreo	30 de abril 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	3.26E+13	3.26E+13
P2	5.61E+12	5.61E+12
% Remoción Laguna	82.78	82.78

Punto de muestreo	18 de agosto 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	2.61E+13	4.65E+13
P2	5.14E+12	5.14E+12
% Remoción Laguna	80.34	88.95

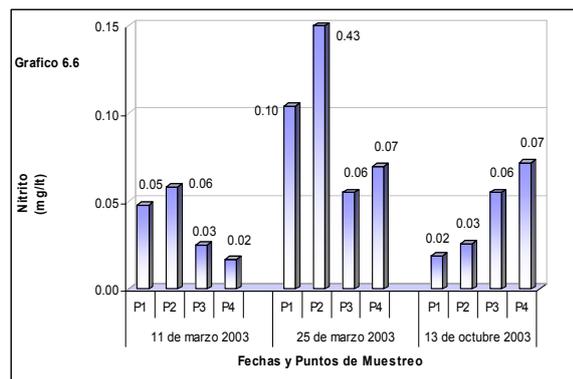
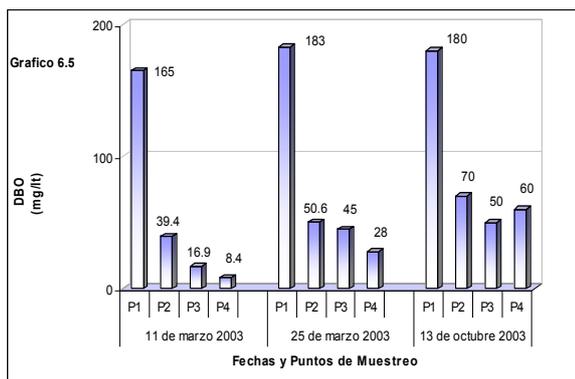
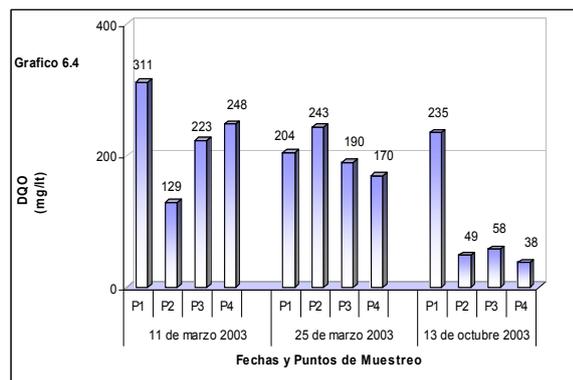
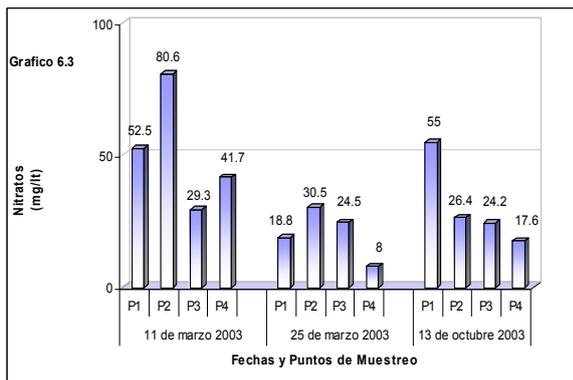
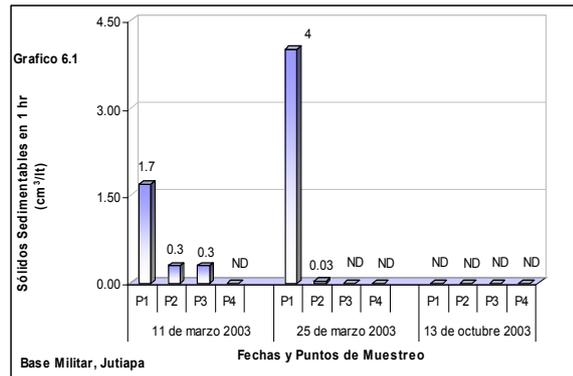
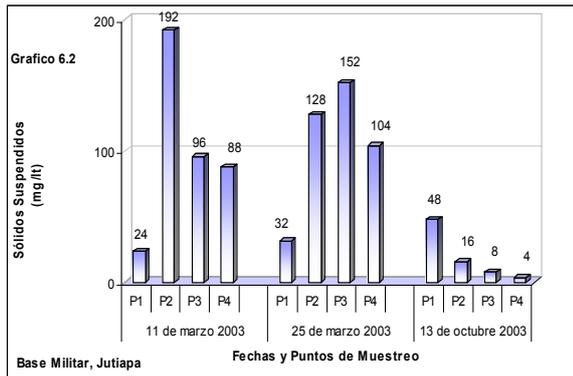
#### 6.2.4. Base aérea del sur.

Punto de muestreo	13 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.60E+13	1.60E+13

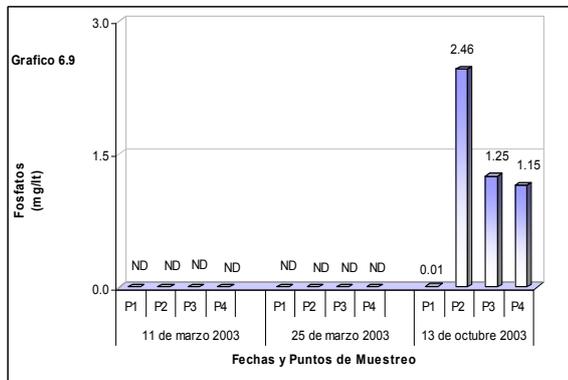
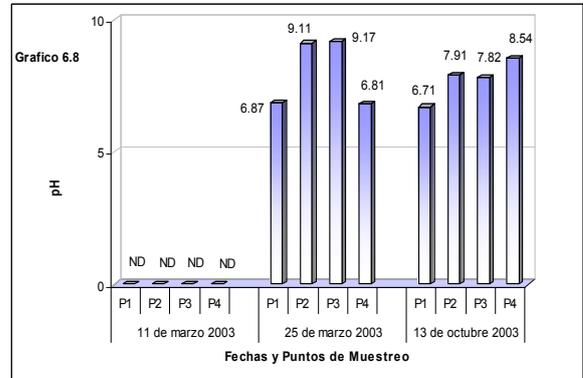
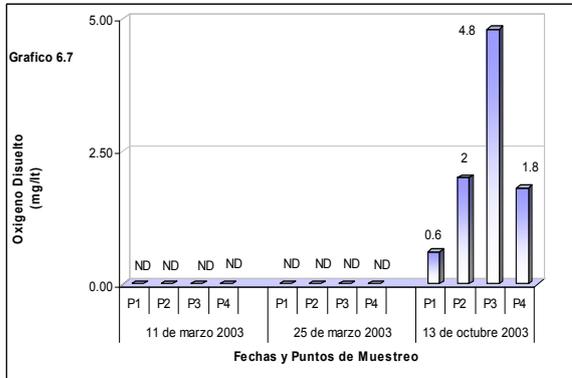
Punto de muestreo	13 de marzo 2003	
	Confirmativa EC	Confirmativa VB
	NMP/ cm <sup>3</sup>	NMP/ cm <sup>3</sup>
P1	1.79E+13	2.56E+13

## 6.3 Gráficos de resultados

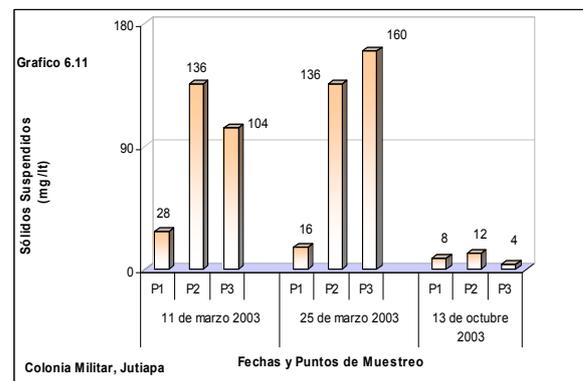
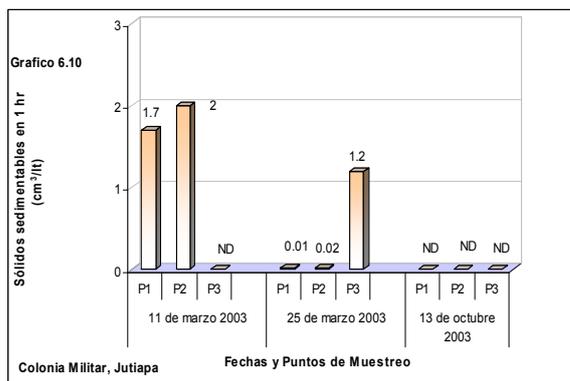
### 6.3.1 Base militar de Jutiapa



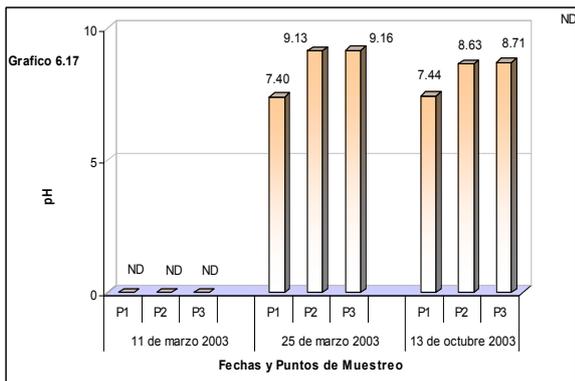
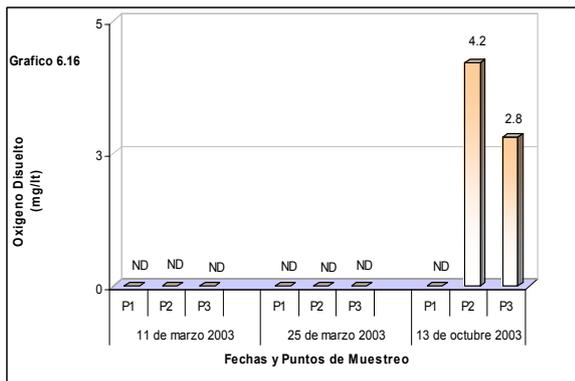
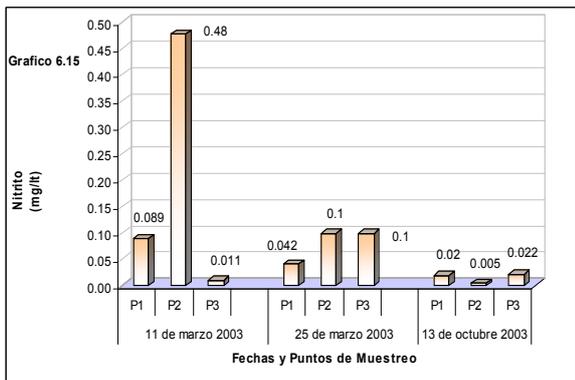
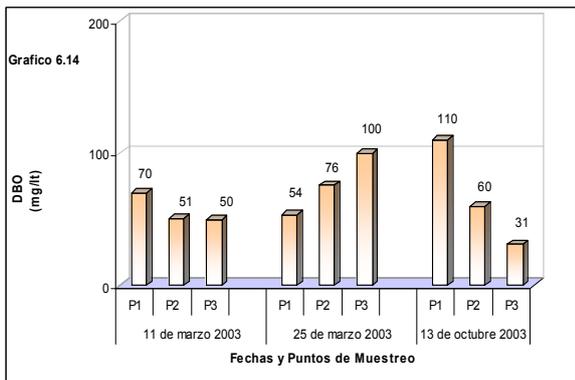
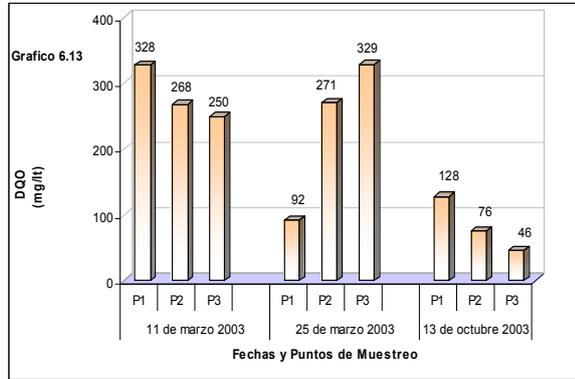
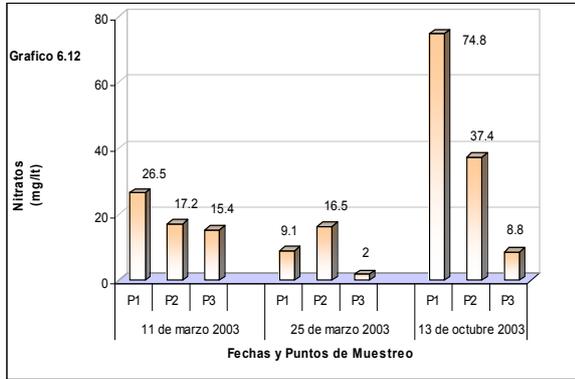
P1 = Entrada a la laguna primaria  
 P2 = Interconexión laguna primaria con laguna secundaria  
 P3 = Interconexión laguna secundaria con laguna terciaria  
 P4 = Salida de la laguna terciaria



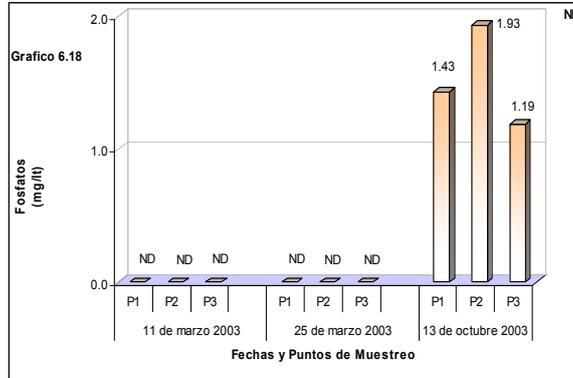
### 6.3.2 Colonia militar de Jutiapa



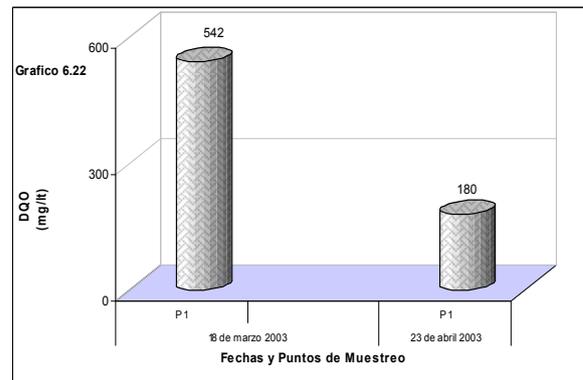
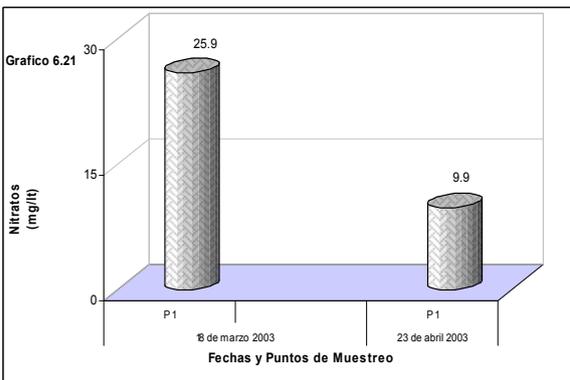
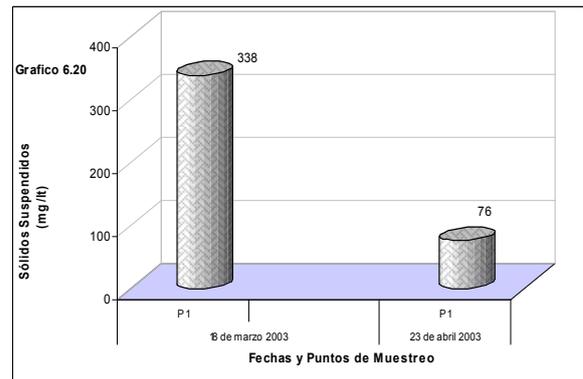
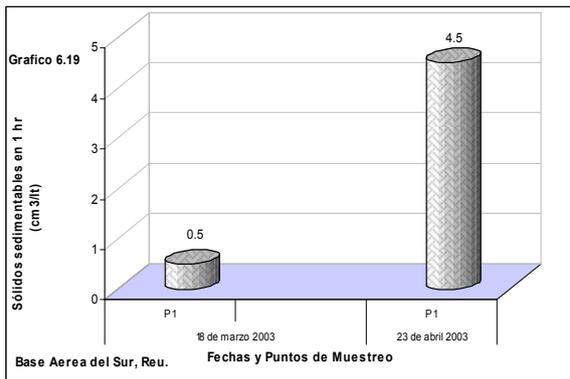
P1 = Entrada a la laguna primaria  
 P2 = Interconexión laguna primaria con laguna secundaria  
 P3 = Salida de la laguna secundaria



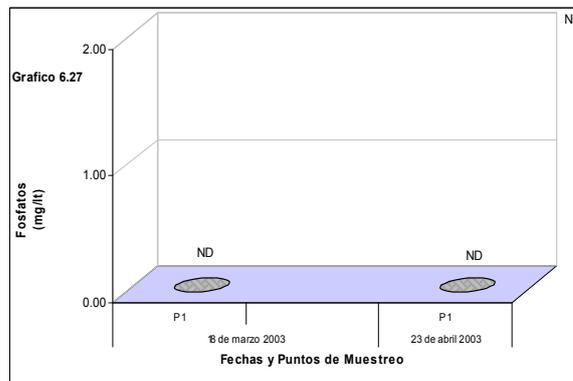
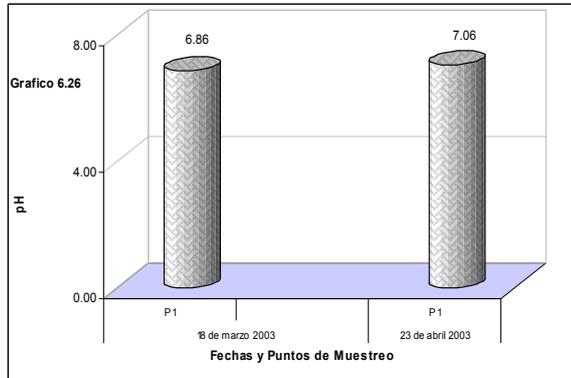
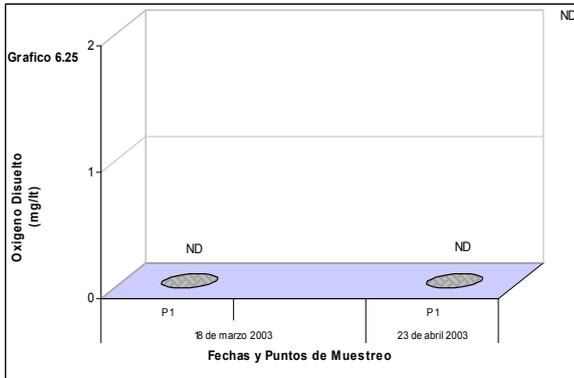
P1 = Entrada a la laguna primaria  
 P2 = Interconexión laguna primaria con laguna secundaria  
 P3 = Salida de la laguna secundaria



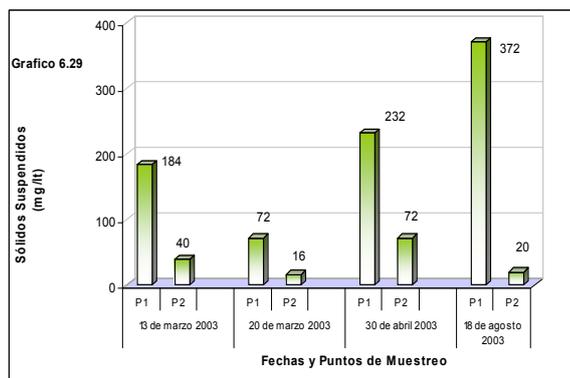
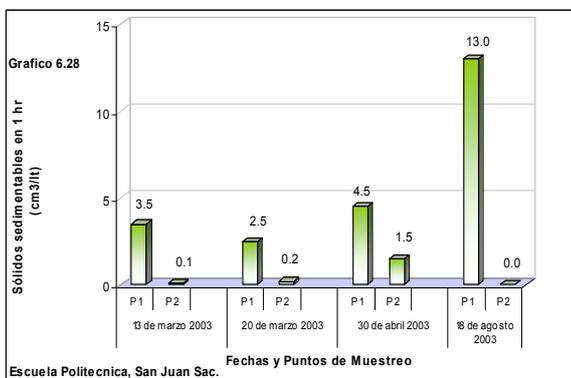
### 6.3.3 Base Aérea del Sur en Retalhuleu



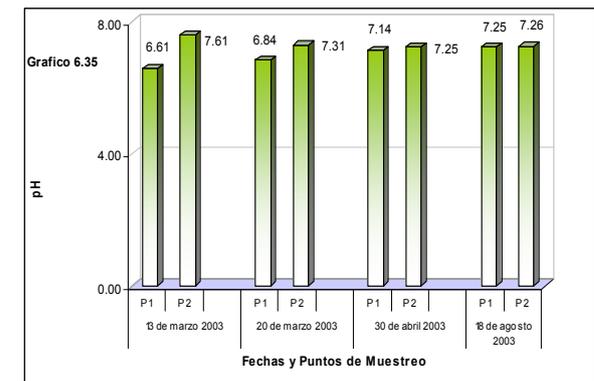
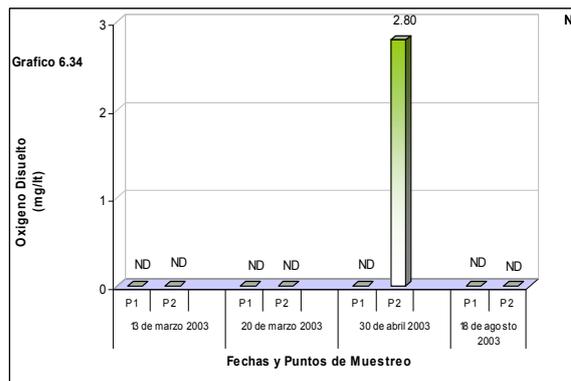
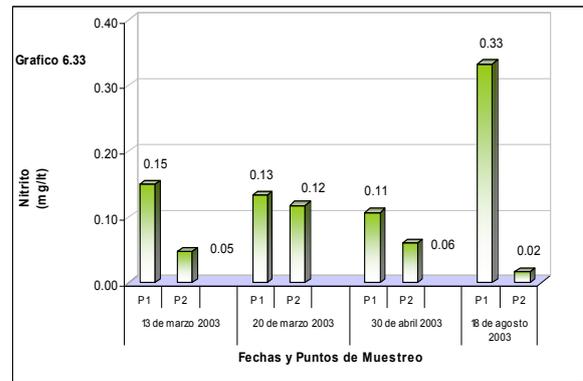
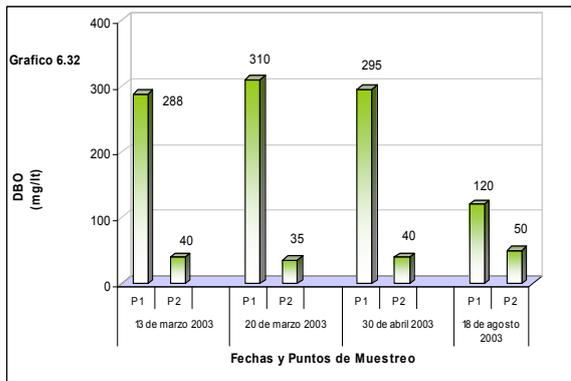
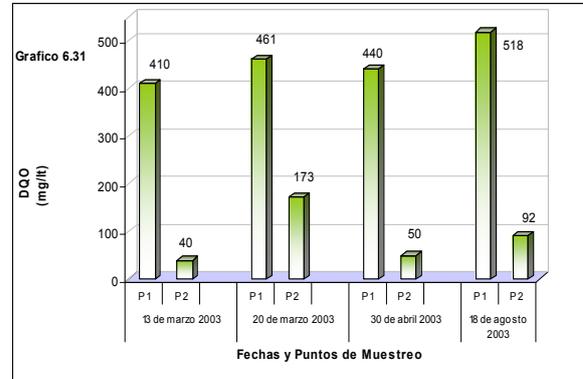
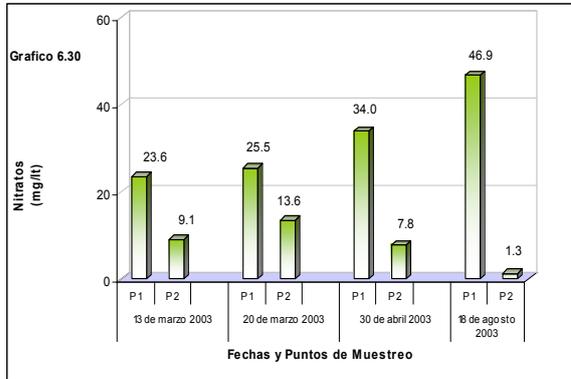
P1 = Punto escogido (pozo de visita) para tomar las muestras



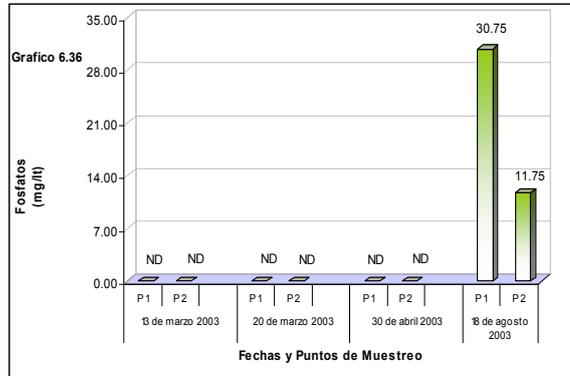
### 6.3.4 Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez



P1 = Entrada a la laguna  
P2 = Salida de la laguna



P1 = Entrada a la laguna  
P2 = Salida de la laguna



## 6.4 Discusión de Resultados

El análisis que se realizará a continuación considera cada unidad del sistema lagunar de la base militar, colonia militar, base aérea del sur y la Escuela Politécnica, enfocado a la eficiencia de remoción que presentan dichas unidades; Se hará por parámetro, y de acuerdo a la hipótesis establecida para este estudio.

### 6.4.1 Base Militar de Jutiapa

#### Laguna 1, base militar

Sólidos Sedimentables	
Laguna 1 (P1 - P2)	Sólidos Sedimentables (%)
11 de marzo 2003	82.35
25 de marzo 2003	99.25
13 de octubre 2003	ND
<b>PROMEDIO</b>	<b>90.80</b>

Se observa en el cuadro superior el porcentaje de remoción promedio, para la cual se obtuvo un valor alto de 90.80%; en la fecha de 13-10-03 no se tiene un valor de remoción, esto debido a que los resultados obtenidos para sólidos sedimentables fueron de cero (0), por lo que no se consideró como remoción.

<b>Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>Sólidos Suspensión (%)</b>
11 de marzo 2003	-700.00 *
25 de marzo 2003	-300.00 *
13 de octubre 2003	66.67
<b>PROMEDIO</b>	<b>66.67</b>

La remoción promedio de éste parámetro se tiene en 66.67%, lo cual es un valor medio para una laguna; se debe considerar para esta unidad, que en las dos fechas del muestreo realizado en época de verano, se incrementaron los valores de sólidos en suspensión (valores con signos negativos), lo cual representa deficiencias de remoción para dicho parámetro; no así en el último muestreo realizado en invierno.

<b>Nitratos</b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>Nitratos (%)</b>
11 de marzo 2003	-53.52 *
25 de marzo 2003	-62.23 *
13 de octubre 2003	52
<b>PROMEDIO</b>	<b>52</b>

Este parámetro presenta las mismas condiciones que los sólidos en suspensión, pues la remoción es baja (52%). Comparando el tercer muestreo (época de invierno), con los incrementos de nitratos en el proceso en las dos fechas anteriores (época de verano), podemos observar que en invierno funcionan mejor las lagunas.

<b>DQO</b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>DQO (%)</b>
11 de marzo 2003	58.52
25 de marzo 2003	-19.12 *
13 de octubre 2003	79.15
<b>PROMEDIO</b>	<b>68.83</b>

Para la DQO se observa que el valor promedio de remoción es de 68.83% siendo este un valor medio de remoción y que dadas las características que presenta la laguna, se puede considerar aceptable; cabe mencionar que en la segunda fecha de muestreo presenta problemas de remoción, incrementando significativamente dicho parámetro.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>DBO5 (%)</b>
11 de marzo 2003	76.12
25 de marzo 2003	72.35
13 de octubre 2003	61.11
<b>PROMEDIO</b>	<b>69.86</b>

La remoción de este parámetro es fundamental en el funcionamiento de las lagunas de estabilización, y se tiene un valor promedio de remoción de 69.86%, lo que representa una remoción regular de dicho parámetro y que de alguna manera, indica que la unidad, trabaja efectivamente en la remoción de materia orgánica y que puede alcanzar valores más altos y significativos en la remoción de DBO en la laguna.

<b>Nitritos</b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>Nitritos (%)</b>
11 de marzo 2003	-20.83 *
25 de marzo 2003	-313.46 *
13 de octubre 2003	-36.84 *
<b>PROMEDIO</b>	<b>-123.71 *</b>

El caso de los nitritos es especial en esta unidad, ya que dadas las condiciones que se observan en el cuadro anterior y al verificar que en ninguno de los muestreos presentó remoción, sino lo contrario se produjo incrementos en todas las muestras, denota problemas dentro del proceso que se desarrolla en la laguna.

<b>Oxígeno Disuelto</b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>Oxígeno Disuelto (mg/l)</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	ND
13 de octubre 2003	1.30
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.43</b>

Presenta problemas en las primeras dos muestras realizadas, pues su valor es cero (0); pero en la tercer fecha se tiene un aumento significativo del valor de oxígeno disuelto, lo que significa que el sistema puede trabajar en condiciones normales en época de invierno, mejorando las condiciones aeróbicas de la laguna, permitiendo que las bacterias interactúen en el proceso de degradación de la materia orgánica en las aguas.

<b>Potencial de Hidrogeno</b>	
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>pH</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	7.99
13 de octubre 2003	7.31
<b>PROMEDIO</b>	<b>7.65</b>

Se logra observar en este caso que el pH, es favorecido en esta unidad, y permite que las aguas presenten condiciones según lo establece la teoría, con valores entre 6 y 8. Así mismo se debe mencionar que el primer muestro de pH no se realizo por lo que no aparece el valor correspondiente.

<b>Bacteriológico</b>		
<b>Laguna 1 (P1 - P2)</b>	<b>E.C. (%)</b>	<b>V.B. (%)</b>
11 de marzo 2003	92.74	80.70
25 de marzo 2003	84.27	94.07
13 de octubre 2003	93.57	93.21
<b>PROMEDIO</b>	<b>90.19</b>	<b>89.33</b>

El aspecto bacteriológico de esta laguna, es alentador, teniendo un promedio de remoción en E.C. (fecales) de 90.19%, el cual esta entre los valores esperados de remoción que la teoría indica para una laguna de estabilización; de la misma manera la siembra en Verde Brillante (totales), indica una remoción alta.

### Laguna 2, base militar

<b>Sólidos Sedimentables</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>Sólidos Sedimentables (%)</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	100
13 de octubre 2003	ND
<b>PROMEDIO</b>	<b>100</b>

En esta unidad del tratamiento se logra apreciar que la remoción de sólidos sedimentables es buena y que se tiene un promedio del 100%, para las muestras analizadas, además se logra apreciar que las partículas que pasan del proceso anterior (laguna 1) son pocas, por lo que la laguna en estudio es eficiente para remover dichas partículas, la muestra tres (3) no presenta valor de remoción, debido a que era cero (0) en todo el proceso.

<b>Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>Sólidos Suspensión (%)</b>
11 de marzo 2003	50
25 de marzo 2003	-18.75 *
13 de octubre 2003	50
<b>PROMEDIO</b>	<b>50</b>

El análisis de este parámetro indica que la remoción de los sólidos en suspensión es baja (50%), y que presenta problemas de incremento en una de las fechas de muestreo, pero lo mas importante se denota en que no importa la época (verano o invierno), se alcanza a tener una remoción baja, lo cual tendrá que ser analizado por aspectos como las condiciones físicas de las estructuras del sistema y en especial de la laguna 2.

<b>Nitratos</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>Nitratos (%)</b>
11 de marzo 2003	63.65
25 de marzo 2003	19.67
13 de octubre 2003	8.33
<b>PROMEDIO</b>	<b>30.55</b>

Para los nitratos se tiene un valor promedio de 30.55% de remoción, además se observa que los porcentajes son bajos en casi todos los muestreos, a excepción del primer muestreo que presenta la mayor remoción de nitratos, con un valor de 63.65%.

<b>DQO</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>DQO (%)</b>
11 de marzo 2003	-72.87 *
25 de marzo 2003	21.81
13 de octubre 2003	-18.37 *
<b>PROMEDIO</b>	<b>21.81</b>

El caso de DQO que se observa para la laguna 2, indica que se tiene una remoción muy baja, en promedio 21.81%, que corresponde al segundo muestreo, pero al mismo tiempo, se tienen incrementos considerables en dos de las fechas de muestreo, indicando que pueden existir agentes químicos, provenientes de fertilizantes o alguna actividad que no se tenga contemplada para este proceso.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (%)</b>
11 de marzo 2003	57.11
25 de marzo 2003	11.07
13 de octubre 2003	28.57
<b>PROMEDIO</b>	<b>32.25</b>

La laguna 2 presenta bajos niveles de remoción de DBO, en promedio se obtuvo 32.25%, lo que nos indica graves problemas en esta laguna, y a pesar de que en época de invierno se realizó un muestreo, los resultados continúan siendo similares a la época seca, a esto se le debe sumar que por la época de lluvia se incrementa el caudal de las aguas en la laguna, provocando dilución en la misma.

<b>Nitritos</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>Nitritos (%)</b>
11 de marzo 2003	56.90
25 de marzo 2003	87.21
13 de octubre 2003	-111.54 *
<b>PROMEDIO</b>	<b>72.05</b>

Es de notar que los nitritos tienen una remoción promedio de 72.05% y un incremento considerable en el último muestreo, sin embargo los valores que se manejan en concentración de nitritos son bajos y no presentan altos riesgos a la vida acuática que pueda desarrollarse en la laguna, cabe mencionar que esta laguna auxilia el proceso deficiente de la laguna anterior.

<b>Oxígeno Disuelto</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>OD</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	ND
13 de octubre 2003	3.40
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.13</b>

El incremento de oxígeno disuelto en el último muestreo favorece la laguna, y se observa que es en época de invierno; todo lo contrario en los primeros dos muestreos donde el oxígeno disuelto fue cero (0) en todo el proceso, y dadas esas circunstancias no favorece al proceso.

<b>Potencial de Hidrogeno</b>	
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>pH</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	9.14
13 de octubre 2003	7.87
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.51</b>

Los valores de pH tienden a ser altos, y el valor promedio que se maneja se encuentra arriba de los valores teóricos de 6 a 8 para pH, esto puede ocasionar que la laguna no trabaje con las condiciones adecuadas para los microorganismos que interactúan con la materia orgánica.

<b>Bacteriológico</b>		
<b>Laguna 2 (P2 - P3)</b>	<b>E.C. (%)</b>	<b>V.B. (%)</b>
11 de marzo 2003	60.49	52.77
25 de marzo 2003	79.79	59.64
13 de octubre 2003	65.84	67.64
<b>PROMEDIO</b>	<b>68.71</b>	<b>60.02</b>

Este proceso de remoción bacteriológica, muestra que las condiciones de la laguna, comparada con la anterior han disminuido, y aunque se observa en E.C un 68.71% y en V.B 60.02%, estos valores indican que se esta realizando un proceso que aunque no es alto según la teoría, puede llegar a alcanzar mejor remoción de microorganismos patógenos.

### **Laguna 3, base militar**

<b>Sólidos Sedimentables</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>Sólidos Sedimentables (%)</b>
11 de marzo 2003	100
25 de marzo 2003	ND
13 de octubre 2003	ND
<b>PROMEDIO</b>	<b>100</b>

La remoción de sólidos sedimentables en la tercera laguna es eficiente, y presenta en el promedio de los muestreos realizados que alcanza un 100%, debiendo mencionar que las ultimas dos fechas, se obtuvieron valores de remoción en los puntos de muestreo de cero (0).

<b>Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>Sólidos Suspensión (%)</b>
11 de marzo 2003	8.33
25 de marzo 2003	31.58
13 de octubre 2003	50
<b>PROMEDIO</b>	<b>29.97</b>

Los sólidos en suspensión para la laguna 3 de la base militar de Jutiapa, presenta un porcentaje de remoción promedio de 29.97%, este porcentaje es bajo, pero es necesario considerar también que la laguna es terciaria y que los valores de sólidos en suspensión son mas bajos en comparación a los de las otras unidades, según nos lo muestran los resultados de los puntos de muestreo, a excepción del segundo muestreo que presenta valores altos de sólidos en suspensión en la laguna en estudio; se puede analizar también que la mejor remoción de sólidos se presenta mejor en época de invierno, con 50% de remoción, y la menor dilución es la primera con 8.33%.

<b>Nitratos</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>Nitratos (%)</b>
11 de marzo 2003	-42.32 *
25 de marzo 2003	67.35
13 de octubre 2003	27.27
<b>PROMEDIO</b>	<b>47.31</b>

Los nitratos en esta laguna presentan una remoción de 47.31% en promedio siendo un valor bajo, además al considerar que el mes de octubre (época lluviosa) es el más bajo, por lo tanto se debe determinar cuidadosamente las deficiencias que presenta esta laguna, con respecto a los nitratos.

<b>DQO</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>DQO (%)</b>
11 de marzo 2003	-11.21 *
25 de marzo 2003	10.53
13 de octubre 2003	34.48
<b>PROMEDIO</b>	<b>22.50</b>

En esta laguna se observa que la remoción de DQO es baja presentando un valor promedio de 22.50%, aunque se debe considerar que los valores obtenidos en los puntos de muestreo, especialmente en las lagunas 2 y 3 son igual de bajos. Como se mencionó anteriormente es necesario realizar una investigación más profunda en esta área, y considerar los aspectos exteriores que influyen en el proceso.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (%)</b>
11 de marzo 2003	50.30
25 de marzo 2003	37.56
13 de octubre 2003	-20*
<b>PROMEDIO</b>	<b>43.93</b>

La remoción de este parámetro presenta deficiencias siendo una laguna de estabilización, así mismo, se debe mencionar el hecho que el valor promedio de remoción que se obtuvo de 43.93% es muy bajo, también se presentó un incremento de DBO en la última fecha de muestreo, (época de invierno).

<b>Nitritos</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>Nitritos (%)</b>
11 de marzo 2003	32
25 de marzo 2003	-27.27 *
13 de octubre 2003	-30.91 *
<b>PROMEDIO</b>	<b>32</b>

Se observa en esta parte que los nitritos presentan un porcentaje de remoción promedio bajo de 32%, siendo deficiente y que se tiene incrementos de nitritos significativos en dos fechas de muestreo, por lo que la laguna funciona mal, al igual que la primera unidad de tratamiento.

<b>Oxígeno Disuelto</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>OD</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	0.00
13 de octubre 2003	3.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.10</b>

El oxígeno disuelto de esta laguna presenta poco incremento y en promedio se tiene 1.10mg/l, el cual se da en época de invierno, no así en verano cuando se utilizan las aguas de dicha laguna para aprovechamiento en riego.

<b>Potencial de Hidrogeno</b>	
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>pH</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	7.99
13 de octubre 2003	8.18
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.07</b>

El pH como promedio en esta laguna es de 8.07, lo cual nos indica que las aguas son alcalinas aunque están cerca del límite superior que permite la proliferación de las bacterias que interactúan con la materia orgánica, y se refleja en parte con la poca remoción de DBO.

<b>Bacteriológico</b>		
<b>Laguna 3 (P3 - P4)</b>	<b>E.C. (%)</b>	<b>V.B. (%)</b>
11 de marzo 2003	42.05	54.08
25 de marzo 2003	49.01	45.72
13 de octubre 2003	100	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>63.69</b>	<b>66.60</b>

El final del proceso se da en la laguna terciaria que según se observa en el cuadro anterior, el 63.69% de remoción es en E.C. (fecales), y 60.02% en V.B.(totales), y representa una remoción media, ya que los datos de la teoría indican que después de un proceso de lagunas terciarias, la remoción esta alrededor del 98%, evidenciando deficiencias en esta ultima etapa .

## 6.4.2 Colonia militar de Jutiapa.

### Laguna 1, colonia militar

<b>Sólidos Sedimentables</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>Sólidos Sedimentables (%)</b>
11 de marzo 2003	-17.65 *
25 de marzo 2003	-100 *
13 de octubre 2003	ND
<b>PROMEDIO</b>	<b>0</b>

Se presenta en esta laguna una deficiencia marcada en el proceso de remoción de sólidos sedimentables; por otro lado el último muestreo evidencia que el sistema funciona, pues los valores de los sólidos que pasan la laguna es cero (0).

<b>Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>Sólidos Suspensión (%)</b>
11 de marzo 2003	-385.71
25 de marzo 2003	-750
13 de octubre 2003	-50
<b>PROMEDIO</b>	<b>-395.24</b>

Este parámetro representa la calidad del proceso que se realiza en la laguna y evidencia el funcionamiento deficientemente que se realiza en ella, debido a que en todos los muestreos realizados se incrementaron los sólidos en suspensión, no importando la época del año, verano o invierno; además podemos decir que los mayores incrementos se dieron en verano, lo que hace necesario investigar con mas detalle esta laguna.

<b>Nitratos</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>Nitratos (%)</b>
11 de marzo 2003	35.09
25 de marzo 2003	-81.32 *
13 de octubre 2003	50
<b>PROMEDIO</b>	<b>42.55</b>

En este parámetro se puede observar que el proceso de remoción de nitratos presenta un 42.55% en promedio, teniendo una mejora en el tercer muestreo que se realizó, aunque no es alto, evidencia que puede mejorarse las condiciones de remoción de la laguna.

<b>DQO</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>DQO (%)</b>
11 de marzo 2003	18.29
25 de marzo 2003	-194.57 *
13 de octubre 2003	40.63
<b>PROMEDIO</b>	<b>29.46</b>

Se observa que se tienen problemas para remover DQO, aunque en la tabla el valor máximo de remoción es de 40.63%, el cual es muy bajo, el promedio es de 29.46%, valor más bajo aún por lo que la remoción es poca; es de hacer notar que la mejora en remoción se da en época de invierno.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (%)</b>
11 de marzo 2003	27.71
25 de marzo 2003	-42.06 *
13 de octubre 2003	45.45
<b>PROMEDIO</b>	<b>36.58</b>

La DBO presenta un promedio de remoción de 36.58%, el cual es un valor muy bajo para una laguna de estabilización, de la misma manera se puede mencionar que la mejor remoción se presentó en el muestreo del mes de octubre, el cual a pesar de ser bajo indica que la unidad puede trabajar en mejores condiciones y alcanzar mejor eficiencia de remoción, por lo que se debe estudiar las condiciones externas que afectan el proceso de remoción.

<b>Nitritos</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>Nitritos (%)</b>
11 de marzo 2003	-435.96 *
25 de marzo 2003	-138.10 *
13 de octubre 2003	75
<b>PROMEDIO</b>	<b>75</b>

El cuadro superior evidencia una remoción promedio de 75%, pero es necesario indicar que la remoción de nitritos en las dos primeras fechas (época de verano), presentó problemas serios.

<b>Oxígeno Disuelto</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>OD</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	0
13 de octubre 2003	2.10
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.70</b>

Para este parámetro se denota que el proceso gana poco oxígeno disuelto, y en dos de los muestreos realizados en verano observamos que este se encontraba agotado, por otro lado en época de lluvia se observa una leve mejora del mismo.

<b>Potencial de Hidrogeno</b>	
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>pH</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	8.27
13 de octubre 2003	9.15
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.71</b>

El pH muestra claramente que se tienen problemas en el proceso de la laguna, en especial se observa el incremento que se ha generado en el proceso conforme avanza el tiempo, pues el agua se vuelve más dura; en la última fecha del muestreo que alcanzo un valor máximo de 9.15, siendo el valor promedio de 8.71, esto causa serios problemas en las lagunas, porque para funcionar bien debe estar en 7.5.

<b>Bacteriológico</b>		
<b>Laguna 1 (P1 – P2)</b>	<b>E.C. (%)</b>	<b>V.B. (%)</b>
11 de marzo 2003	79.18	95.91
25 de marzo 2003	81.39	80.17
13 de octubre 2003	92.99	92.99
<b>PROMEDIO</b>	<b>84.52</b>	<b>89.69</b>

La laguna primaria de la Colonia Militar presenta una remoción relativamente alta, en promedio 84.52 %, en el medio de cultivo de E.C. (fecales), y 89.69% en el medio de V.B.(totales) lo cual es necesario que se indique que las mejores fechas fueron las del muestreo realizado en octubre y que registra el máximo valor, en 92.99% para E.C. y V.B.

#### **Laguna 2, colonia militar**

<b>Sólidos Sedimentables</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>Sólidos Sedimentables (%)</b>
11 de marzo 2003	100
25 de marzo 2003	-5900
13 de octubre 2003	ND
<b>PROMEDIO</b>	<b>100</b>

Esta es la laguna secundaria y se observa claramente en el cuadro superior que la remoción de la laguna es efectiva, aunque a simple vista presenta condiciones externas que afectan el proceso. Finalmente se tiene un último muestreo en el mes de octubre, donde no se pudo medir los sólidos sedimentables.

<b>Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>Sólidos Suspensión (%)</b>
11 de marzo 2003	23.53
25 de marzo 2003	-17.65 *
13 de octubre 2003	66.67
<b>PROMEDIO</b>	<b>45.10</b>

Se observa que la laguna en estudio presenta una remoción promedio de 45.10%, y que al comparar este valor con los valores dados por la teoría, denota una remoción baja; cabe mencionar que el máximo valor que se obtuvo en la laguna, fue en época de invierno (66.67%) y que a pesar de esto indica problemas en el proceso.

<b>Nitratos</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>Nitratos (%)</b>
11 de marzo 2003	10.47
25 de marzo 2003	87.88
13 de octubre 2003	76.47
<b>PROMEDIO</b>	<b>58.27</b>

El nitrato en esta laguna presenta en promedio regulares condiciones de remoción (58.27%), al punto que en dos de las tres muestras se observa una remoción alta, lo que apunta a una tendencia de remover de manera eficiente los nitratos.

<b>DQO</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>DQO (%)</b>
11 de marzo 2003	6.72
25 de marzo 2003	-21.40 *
13 de octubre 2003	39.47
<b>PROMEDIO</b>	<b>23.10</b>

La remoción de DQO se presenta con un valor bajo de 23.10%, y con un valor máximo en el tercer muestreo de 39.47%, y que de cualquier manera aun es bajo, para una laguna de estabilización.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (%)</b>
11 de marzo 2003	1.19
25 de marzo 2003	-31.58 *
13 de octubre 2003	48.33
<b>PROMEDIO</b>	<b>24.76</b>

El valor promedio de remoción para este parámetro es de 24.76% y se observa en el cuadro que el proceso que se realiza en la laguna presenta problemas graves.

<b>Nitritos</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>Nitritos (%)</b>
11 de marzo 2003	97.69
25 de marzo 2003	0.00
13 de octubre 2003	-340.00 *
<b>PROMEDIO</b>	<b>48.85</b>

Los nitritos en esta laguna son removidos con un porcentaje medio de remoción de 48.85%, aunque es importante notar que el ultimo día de muestreo se dio un incremento considerable, y que las otras dos fechas permitieron tener una mejor remoción.

<b>Oxigeno Disuelto</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>OD</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	0.00
13 de octubre 2003	3.50
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.17</b>

El oxigeno disuelto presenta problemas de remoción en las primeras dos fechas de muestreo, y se registra un incremento, aunque bajo, en la tercera fecha, lo cual mejora las condiciones de la laguna.

<b>Potencial de Hidrogeno</b>	
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>pH</b>
11 de marzo 2003	ND
25 de marzo 2003	9.15
13 de octubre 2003	8.67
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.91</b>

El pH que se registra en esta laguna indica que se tiene problema de alcalinidad en la laguna, y el valor promedio que se tiene es de 8.91.

<b>Bacteriológico</b>		
<b>Laguna 2 (P2 – P3)</b>	<b>E.C. (%)</b>	<b>V.B. (%)</b>
11 de marzo 2003	60.49	52.77
25 de marzo 2003	79.79	59.64
13 de octubre 2003	65.84	67.64
<b>PROMEDIO</b>	<b>68.71</b>	<b>60.02</b>

Esta laguna es la parte final del proceso, y al observar los resultados de remoción promedio obtenidos de 68.71% en E.C. y 60.02% en V.B, teniendo una reducción de eficiencia mínima, en comparación al proceso anterior, en especial en V.B. donde se presenta un valor mínimo de 52.77%.

#### **6.4.3 Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez.**

<b>Sólidos Sedimentables</b>	
<b>Laguna</b>	<b>Sólidos Sedimentables (%)</b>
13 de marzo 2003	97.14
20 de marzo 2003	92
30 de abril 2003	66.67
18 de agosto 2003	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>88.95</b>

Esta laguna presenta un promedio de 88.95% de remoción lo que indica que se encuentra en un rango alto de remoción, por otro lado mejora considerablemente en el mes de agosto (época de invierno).

El proceso que se realiza es efectivo en los diferentes muestreos que se realizaron, siendo el valor menor el de 66.67% que se puede considerar dentro del rango esperado de remoción.

<b>Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Laguna</b>	<b>Sólidos Suspensión (%)</b>
13 de marzo 2003	78.26
20 de marzo 2003	77.78
30 de abril 2003	68.97
18 de agosto 2003	94.62
<b>PROMEDIO</b>	<b>79.91</b>

Los sólidos en suspensión están siendo removidos en un promedio alto de 79.91%. El menor valor de remoción es el tercer muestreo realizado en el mes de abril; sin embargo el último muestreo realizado en el mes de agosto remueve un 94.62%; por lo tanto la eficiente remoción de este parámetro indica que la laguna funciona adecuadamente.

<b>Nitratos</b>	
<b>Laguna</b>	<b>Nitratos (%)</b>
13 de marzo 2003	61.44
20 de marzo 2003	46.67
30 de abril 2003	77.06
18 de agosto 2003	97.23
<b>PROMEDIO</b>	<b>70.60</b>

Se observa en el cuadro superior que la remoción de nitratos es adecuada en esta laguna, presentándose un problema de remoción en el segundo muestro realizado, el cual es el mas bajo con un valor de 46.67%, a pesar de ser bajo se puede observar que esta laguna esta trabajando en optimas condiciones.

<b>DQO</b>	
<b>Laguna</b>	<b>DQO (%)</b>
13 de marzo 2003	90.24
20 de marzo 2003	62.47
30 de abril 2003	88.64
18 de agosto 2003	82.24
<b>PROMEDIO</b>	<b>80.90</b>

La remoción que se obtuvo de DQO en esta laguna también presenta valores altos alcanzando en promedio un 80.90%, evidenciando que el sistema opera adecuadamente en cualquier época del año.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	
<b>Laguna</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (%)</b>
13 de marzo 2003	86.11
20 de marzo 2003	88.71
30 de abril 2003	86.44
18 de agosto 2003	58.33
<b>PROMEDIO</b>	<b>79.90</b>

La remoción de la materia orgánica representada por la DBO, es en promedio 79.90%, y se mantuvo en toda la época de verano, disminuyendo en el invierno, aunque se observa un valor bajo de 58.33%, este indica un trabajo regular de remoción de la laguna.

<b>Nitritos</b>	
<b>Laguna</b>	<b>Nitritos (%)</b>
13 de marzo 2003	68
20 de marzo 2003	11.28
30 de abril 2003	42.99
18 de agosto 2003	94.89
<b>PROMEDIO</b>	<b>54.29</b>

Los nitritos presenta el valor mas bajo de remoción de la laguna con un 54.29% de remoción, a pesar de esto el valor es regular y se presenta una mejor remoción en la ultima fecha de muestreo con 94.89%, aunque es necesario considerar que la laguna presenta deficiencias de remoción en época de verano.

<b>Oxigeno Disuelto</b>	
<b>Laguna</b>	<b>OD</b>
13 de marzo 2003	ND
20 de marzo 2003	ND
30 de abril 2003	1.4
18 de agosto 2003	0.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.35</b>

Se observa en el cuadro superior que la laguna de la Escuela Politécnica esta operando con valores extremadamente bajos de oxigeno, y que sus procesos se están realizando en la mayor parte del tiempo bajo condiciones anaeróbicas.

<b>Potencial de Hidrogeno</b>	
<b>Laguna</b>	<b>pH</b>
13 de marzo 2003	7.11
20 de marzo 2003	7.08
30 de abril 2003	7.20
18 de agosto 2003	7.26
<b>PROMEDIO</b>	<b>7.16</b>

Se observa que el pH de la laguna de estabilización de San Juan Sacatepéquez se encuentra entre el rango adecuado para propiciar la interacción de las bacterias que efectuaran el proceso de remoción de la materia orgánica.

<b>Bacteriológico</b>		
<b>Laguna (P1 – P2)</b>	<b>E.C. (%)</b>	<b>V.B. (%)</b>
13 de marzo 2003	76.94	75.28
20 de marzo 2003	74.58	79.76
30 de abril 2003	82.78	82.78
18 de agosto 2003	82.78	88.95
<b>PROMEDIO</b>	<b>79.27</b>	<b>81.70</b>

Aunque esta laguna presenta valores aceptables de remoción bacteriológica media, es evidente que el proceso que se realizo en la laguna durante los muestreos obtenidos es constante, desarrollándose en cualquier tipo de clima, en promedio se tiene para E.C. 79.27% y para V.B. con 81.70%.

## 6.5 Generalidades.

El mayor problema que se presenta en las lagunas de estabilización de la zona militar No.10 con sede en Jutiapa, y la colonia Militar también de Jutiapa, estriba en la utilización que se hace de las aguas para riego, que se encuentran en un proceso de tratamiento y que requiere de un periodo de tiempo (periodo de retención) que le permita cumplir su función de remoción de microorganismos, así como mejorar las condiciones de calidad de las aguas. El reflejo de esta acción se observa en el deterioro y pérdida de la calidad de las condiciones de las aguas en el proceso de tratamiento; al mismo tiempo que se da una reducción del volumen de agua disponible, cortando la interacción de la biomasa. Se suma a dicha problemática, el hecho que no se cuenta con una operación y mantenimiento que permita garantizar una recuperación pronta y controlada de las condiciones de la lagunas, y solucionar de esta manera los problemas que se presentan al utilizar las aguas de la planta de tratamiento como fuentes de agua para riego, *cabe mencionar que el riesgo para la salud bajo estas condiciones es alto*. Al mismo tiempo se debe mencionar el hecho que las unidades de tratamiento se encuentran deterioradas y prácticamente abandonadas, por lo que se hace necesario dar seguimiento a la propuesta de rehabilitación y mejoras propuestas en los trabajos de tesis que se realizaron en la Facultad de Ingeniería, así como implementar nuevas unidades que puedan mejorar el funcionamiento y proceso de las mismas.

Remoción en %	Sistema de lagunas de estabilización (Teórico)**	Cuadro 6.25 Comparación de la remoción de patógenos del proceso de tratamiento en las lagunas de estabilización		
		Sistema de tratamiento		
		Base militar Jutiapa	Colonia militar Jutiapa	Escuela Politécnica San Juan Sacatepéquez
DBO (%)	70 a 95	82.08	33.46	79.90
SS (%)	55 a 95	30.56	16.67	79.91
Patógenos (%)	I ciclo = 90*	74.20	71.54	78.66
DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno				
SS = Sólidos Suspendidos				
Patógenos (bacterias)				
**1 ciclo = 90% de remoción, 2 ciclos = 99% de remoción y 3 ciclos = 99.9% de remoción.				
*Fuente: Oakley Stewart M. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS: Las experiencias en Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América. Editor Anthony P. Brand. Tegucigalpa, Honduras. Agosto 1998.				

Los valores considerados en el cuadro 6.25 para el análisis de los sistemas lagunares en estudio, son promedios de todas los muestreos, tomando en cuenta el trabajo de remoción de cada unidad.

Para la DBO solamente la laguna de la Escuela Politécnica tiene un porcentaje de remoción conforme lo indica la teoría, los demás sistemas se encuentran por debajo del rango establecido. Respecto a los sólidos suspendidos, también la laguna de la Escuela Politécnica remueve de acuerdo a lo planteado en el cuadro; y por último en cuanto a la remoción de microorganismos patógenos nuevamente la laguna de la Escuela Politécnica es la que tiene el valor mas alto, a pesar de esto tiene un valor mucho menor de lo mínimo que se espera para una laguna de estabilización. Es importante hacer notar que los sistemas de la base militar y colonia militar de Jutiapa cuentan con 3 y 2 lagunas en serie respectivamente para desarrollar su proceso, y la Escuela Politécnica cuenta con una.

### 6.5.1 Análisis del período de retención hidráulica

<b>Cuadro 6.26 Comparación de los periodos de retención de los sistemas lagunares en estudio</b>					
<b>Período de Retención del Sistema:</b>	<b>Población Atendida (hab.)</b>	<b>Laguna Primaria (días)</b>	<b>Laguna Secundaria (días)</b>	<b>Laguna Terciaria (días)</b>	<b>Tiempo de Remocion (días)</b>
Base militar, Jutiapa	1,200	37.72	18.02	18.79	74.53
Colonia militar, Jutiapa	160	18.10	14.57	-	32.77
Base aérea del Sur, Retalhuleu.	500	51.00	18.00	19.00	88.00
Escuela Politécnica, San Juan Sacatepéquez.	878	12.00	-	-	12.00
Teórico**	hasta 100,000	>10 (Facultativa)	>10 días (Facultativa)	>5 días (Maduración)	>15 días*
*Periodo de retención mínimo para un sistema de lagunas que remueve como mínimo 3 o 4 ciclos logarítmicos de patógenos de bacteria. Sin embargo para la Escuela Politécnica puede ser el valor de 10 días.					
**Fuente: Oakley Stewart M. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS: Las experiencias en Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América. Editor Anthony P. Brand. Tegucigalpa, Honduras. Agosto 1998.					

Se observa en el cuadro No.6.26 los diferentes períodos de retención para cada sistema lagunar, indicando éste, que todas las lagunas presentan las condiciones adecuadas según la teoría en cuanto al periodo de retención mínimo con el que funcionan los sistemas, sin embargo si se considera la población que atienden, indica que se encuentran operando sobre diseñadas. Es importante decir que la institución militar ha venido reduciendo su personal en los últimos años, lo que influido en este aspecto, por lo tanto estos sistemas pueden soportar más población de tipo permanente como flotante.

Al considerar que todas estas lagunas en estudio son de tipo facultativo, en algunos casos de maduración (lagunas terciarias) en serie, y que su propósito específico, es la remoción de DBO bajo condiciones aeróbicas, al aprovechar la simbiosis entre las algas, bacterias y la reaeración por el viento; además el hecho que las lagunas de estabilización son la mejor opción para la remoción de patógenos a través del largo periodo de retención hidráulica y los rayos ultravioleta provenientes de la energía solar, esperando con esto contribuir en la salud del ser humano reduciendo las enfermedades gastrointestinales.

Los resultados obtenidos en los diferentes muestreos que se realizaron en cada sistema lagunar, presentan eficiencias de remoción baja, y en algunos casos incrementos en los parámetros físico-químicos se hace necesario prestar más atención a las causas que puedan entorpecer los procesos de remoción de patógenos y degradación de la materia orgánica, por otro lado en base a las experiencias que se obtuvieron en los muestreos realizados en época de invierno se presentan en promedio mejores condiciones de remoción en cada unidad de las lagunas, así mismo es necesario mencionar que las eficiencias en época de verano fueron muy bajas haciendo que el período de retención de las lagunas sea mucho menor al real.

### 6.5.2 Propuesta de solución para el riego en la Base Militar de Jutiapa y la Colonia Militar de Jutiapa

Considerando que el proceso del tratamiento de las lagunas de estabilización se ve afectado en el volumen de agua, y que al mismo tiempo esto hace que se pierda el balance y proceso que se realiza en las lagunas se propone la construcción de otro tanque que permita suplir la necesidad de agua para el riego y que el proceso de tratamiento de las aguas residuales domesticas concluya según el diseño original, permitiendo así también que el agua que se utiliza para este fin sea de mejor calidad.

### 6.5.3 Datos del sistema de bombeo utilizado para riego.

En ambas plantas utilizan bombas del mismo tipo, y tienen los mismos datos de riego, como sigue:

- Bomba 5hp.
- Caudal requerido: 24 gl/min = 1.51 lt/seg
- Tiempo requerido de riego: 2.5 hr / dia, 3 veces / semana
- Tiempo de siembra : 2 a 3 meses

Caudal horario medio	Lts/seg
Colonia Militar	0.63
Base Militar	1.89

Profundidad útil	1.5
Ancho superficial	7
Largo superficial	7
Dimensiones del tanque	1.5 x 7 x 7
Volumen del tanque m <sup>3</sup>	28.50
Relación Horizontal / Vertical	2

Profundidad útil	1.5
Ancho superficial	7
Largo superficial	8
Dimensiones del tanque	1.5 x 7 x 8
Volumen del tanque m <sup>3</sup>	34.50
Relación Horizontal/Vertical	2

<b>Descripción</b>	<b>Colonia Militar</b>	<b>Base Militar</b>
Producción diaria de la planta (lts/s)	29264.04	95256.00
Producción diaria de la planta (m <sup>3</sup> /d)	29.26	95.26
Requerido al día para riego (lts/s)	16329.60	16329.60
Requerido al día para riego (m <sup>3</sup> /d)	16.33	16.33
Relación requerido / producido	55.80	17.14
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	27.01	32.66
Dimensiones (m)	1.5 x 7 x 7	1.5 x 7 x 8
Volumen del tanque real( m <sup>3</sup> )	28.50	34.50



## CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la hipótesis planteada en el presente estudio, el sistema de lagunas de la base militar de Jutiapa, no está removiendo como se esperaba; tiene los siguientes porcentajes de remoción: demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 48.68%, sólidos sedimentables (S.S.) 48.88% y remoción bacteriológica de 74.20%.
2. De acuerdo a la hipótesis planteada el sistema de lagunas de la colonia militar de Jutiapa, no esta removiendo conforme a lo planteado, teniendo los siguientes porcentajes de remoción: DBO<sub>5</sub> 30.67%, S.S. 22.55%, y la remoción bacteriológica con 71.54%.
3. De acuerdo a la hipótesis planteada el sistema de lagunas de la Escuela Politécnica de San Juan Sacatepéquez., sí está removiendo conforme a lo esperado con los siguientes porcentajes: 79.90% de DBO<sub>5</sub>, 79.91% de S.S.; únicamente en remoción bacteriológica no cumple con lo planteado con 78.66%.
4. El sistema lagunar de la base militar de Jutiapa, opera con tres laguna de estabilización facultativas, de las cuales la que mejores condiciones de remoción presenta en cuanto a S.S., DBO<sub>5</sub> y remoción bacteriológica es la primera laguna del sistema; con los siguientes valores promedios: 66.67% en S.S., 69.86% en DBO<sub>5</sub>, así mismo la remoción bacteriológica que se obtuvo es 90.19%, cumpliendo las condiciones propuestas en la hipótesis del presente trabajo.

5. La colonia militar de Jutiapa, funciona con dos lagunas de estabilización facultativas, de las cuales la primer laguna del sistema presenta las mejores condiciones de remoción, con los siguientes porcentajes:  $DBO_5$  36.58%, el análisis bacteriológico presentó una remoción 84.52%, S.S. no presentó remoción. La laguna 2 solamente en S.S. presentó remoción con 45.10%, además ésta laguna tiene la tubería de salida o desfogue totalmente tapada, lo que impide un flujo continuo del agua tratada.
6. El sistema de lagunas de la base aérea del sur no esta operando, por lo tanto no es posible dar un dictamen respecto a su eficiencia de remoción.
7. El periodo de retención de los sistemas lagunares en estudio es mayor al requerido para las poblaciones que se atienden, por lo que se encuentran operando sobre diseñadas.
8. Los sistemas de lagunas en serie analizados en este estudio no realizan la remoción de bacterias adecuadamente, como lo establece la teoría, pues a mayor cantidad de unidades en un sistema, mayor remoción de coliformes se debe tener.

## RECOMENDACIONES

1. Poner en marcha las acciones propuestas en las tesis realizadas por estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos en las zonas militares en estudio, considerando las mejoras y aspectos de rehabilitación de cada una de las unidades del proceso de funcionamiento de las lagunas.
2. En todas las plantas de tratamiento de aguas residuales, implementar un sistema de By-pass que permita realizar la limpieza de lodos de cada una de las unidades que se necesite de acuerdo a su periodo de retención o a la inspección física que se realice.
3. Realizar un estudio que evalúe y determine las mejoras al sistema de ingreso y distribución de las aguas en las lagunas, que permita aprovechar el área disponible de las mismas, para que exista la menor cantidad de zonas muertas dentro de los sistemas.
4. En la colonia militar de Jutiapa considerar, con carácter de prioridad, la rehabilitación de las unidades de tratamiento, en especial el canal de acceso a las lagunas; y reestablecer el flujo en la tubería de salida de la planta hacia el desfogue con la limpieza o reemplazo de la misma.
5. Que se utilice el Manual de Operación y Mantenimiento que se propone en el presente trabajo, con el objeto de garantizar el normal funcionamiento de las unidades y la eficiencia de los procesos que se realizan.

6. Que los directivos de mayor rango de cada zona designen al personal correspondiente que organice las actividades propias de operación y mantenimiento de las unidades de tratamiento, y coordinen con el Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de Guatemala las actividades de capacitación y orientación para el monitoreo y control oportuno de las etapas del proceso.
7. Que el Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de Guatemala, coordine las acciones de capacitación y seguimiento de las plantas de tratamiento de agua residual en estudio, para brindar apoyo técnico y establecer nuevas propuestas de acción que mejoren las condiciones de las plantas.
8. Que no se utilice el agua tratada de las lagunas, para riego sin antes tomar en consideración las medidas necesarias para que la misma cumpla los requerimientos de calidad establecidos para cada tipo de cultivo, por leyes regionales e internacionales, para evitar efectos dañinos en la salud de los consumidores.
9. Que se tome conciencia por parte de los directivos de la base aérea del sur ubicada en Retalhuleu, sobre la importancia que tienen los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, siendo el caso de las lagunas de estabilización; minimizando el daño y efecto que éstas aguas tienen en el medio ambiente, en los cuerpos receptores y en la salud de las poblaciones aledañas.

## REFERENCIAS

- 1) Sergio Rolim Mendoza. SISTEMAS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Revisión técnica: German Rojas Orozco. Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Santa Fe de Bogota Colombia. Editorial Normos S.A. Junio del 2000
- 2) Stewar M. Oakley, Ph.D. MANUAL DE DISEÑO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACION EN HONDURAS. Fondo Hondureño de Inversión Social, Unidad Generación de Empleo. Cooperación USAID, Proyecto de desarrollo Municipal 522-0340. Abril 1,997.
- 3) Morales Estrada, Sergio Jehovanny. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA BASE AEREA DEL SUR DE RETALHULEU. Tesis de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Octubre 2003.
- 4) Motta Rodas, Denys Estuardo. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA BASE MILITAR No. 10 DE JUTIAPA. Tesis de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Mayo 2003.
- 5) López Morales, Herbert Mauricio. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA COLONIA MILITAR DE JUTIAPA. Tesis de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Mayo 2003.



## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Yáñez Cossio, Fabián. LAGUNAS DE ESTABILIZACION (teoría, diseño, evaluación y mantenimiento). Cuenca, Ecuador. Junio de 1993.
- 2) Castellanos Manzo, Eldin Osvaldo. EVALUACION PRELIMINAR A LA PUESTA EN MARCHA Y PROPUESTA DE UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SANTA ELENA BARILLAS, VILLA CANALES, GUATEMALA. Estudio Especial. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre de 1999.
- 3) Gutiérrez Huete, Claudio. CONSIDERACIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO, DISEÑO CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Trabajos presentados al seminario de Ingeniería Sanitaria de Centroamérica y Panamá. Managua, Nicaragua. Noviembre de 1969.
- 4) Moscos, Julio. REUSO EN ACUICULTURA DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE SAN JUAN. Proyecto de investigación. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Programa de Salud Ambiental. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Servicio Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (SENAPA).
- 5) Samayoa del Rossal, Elvia Miriam. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, POR MEDIO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, AL MUNICIPIO DE GUATATOYA DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO.

- 6) Abreu, Rosa Urania. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (Planta tratamiento sistema Haina-Manoguayabo). Proyecto Rehabilitación y mejoramiento del sistema. Santo Domingo República Dominicana. Diciembre 2001.
- 7) Romero Cristales, Manlia Alicia del Rosario. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. Tesis de graduación. Universidad del El Salvador. San Salvador. 2000. Hoja electrónica encontrada en CEPIS. Servicios. Textos completos. Manual de operación y mantenimiento, visitado el 10 de octubre del año 2003.
- 8) Oakley Stewart M. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS: Las experiencias en Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América. Editor Anthony P. Brand. Tegucigalpa, Honduras. Agosto 1998.

# ANEXOS