



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE  
SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ.**

.

**Carlos Augusto Mérida Caceros**

Asesorado por el Ing. Juan Pablo Mazariegos

Guatemala, mayo de 2009

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ LA LAGUNA,  
SOLOLÁ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR  
CARLOS AUGUSTO MÉRIDA CACEROS**

**ASESORADO POR EL ING. JUAN PABLO MAZARIEGOS ROBLES**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**GUATEMALA, MAYO DE 2009**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodriguez
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruíz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ LA LAGUNA,  
SOLOLÁ,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, en agosto de 2007.



**Carlos Augusto Mérida Caceros**

Guatemala, Abril de 2009.

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Estimado Ingeniero Williams:

Reciba un cordial saludo de mi parte. El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he tenido a la vista el informe final del trabajo de graduación del estudiante Carlos Augusto Mérida Caceros quien se identifica con el número de carné 1995-16104, titulado "EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ".

Considero muy satisfactorio dicho trabajo y lo remito a su consideración para proseguir con los trámites correspondientes.

Atentamente.



Ing. Juan Pablo Mazariegos  
Col. 799  
ASESOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

---

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación del estudiante Carlos Augusto Mérida Caceros titulado: "EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ", procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, mayo de 2,009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

---

Guatemala, 14 de Mayo de 2009  
Ref. EI.Q.285.2009

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-038-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **CARLOS AUGUSTO MÉRIDA CACEROS**, identificado con carné No. **1995-16104**, titulado: "EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ" el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Juan Pablo Mazariegos, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Mérida Caceros** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. ~~Teresa~~ Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

C. c.: archivo

---

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 168.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Augusto Mérida Caceros**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, mayo de 2009

/gdech

*“Es mejor morir de pie, que vivir de rodillas”  
Emiliano Zapata*

## DEDICATORIA A:

Toda mi vida he tenido la dicha de estar rodeado de grandes mujeres, las cuales me han enseñado más que con palabras con sus acciones. He visto a mi viejita luchar por darme un mejor futuro y me ha demostrado con su ejemplo de honradez, trabajo y dedicación como se deben de hacer las cosas.

Mi Mami me enseñó a ser fuerte, me enseñó que si caes lo importante es levantarse y seguir adelante, la combinación de fortaleza y bondad que posee es única. Abuelita Lucy, a pesar de las adversidades siempre está dispuesta a ayudar a los demás y a darles cariño a todos.

***"Ustedes son un ejemplo a seguir, Dios las bendiga."***

Años más tarde sigo bendito, pues estoy al lado de una magnífica mujer, sin lugar a dudas es la mujer más determinada, inteligente y linda sobre este gran planeta, a ti sólo te puedo agradecer por ser mi soporte, por darme tú amor incondicional y por ser mi luz. (... y ojalá pueda estar, de tu sueño en la red, esperando tus ojos y mirándote.). Angelina, María Josefa, Blanca, Beatriz, Dora y doña Miriam también para ustedes mis respetos y admiración.

A todas y cada una de ellas **GRACIAS** por estar conmigo y mostrarme la grandeza y el sentido de la vida.

PD. Pa, siempre supo que lo iba a lograr, gracias por confiarme en mí. Lo quiero mucho.  
Nacho, con tu sonrisa me diste el último empujón.

*“El que no conoce la verdad es simplemente un ignorante. Pero el que la conoce y la llama mentira, ¡ese es un criminal!...”*

**Bertolt Brecht**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias Dios por darme tantas oportunidades en un país de limitaciones, siempre lucharé por retribuirte todo lo que me has dado y más.

Gracias a todas las personas que me han ayudado a realizar este trabajo directa o indirectamente, entre ellos a:

- OP por creer y apoyarme en el proyecto.
- Juan Pablo Mazariegos, por la confianza.
- Juan Skinner y Guille por sus sugerencias, comentarios.
- Milagro Fajardo, Doctor Espinosa y Ing. Lisely, por su apoyo y disposición.
- Municipalidad de Santa Cruz, en especial a Gregorio Simaj.
- También gracias a todos los que siempre mostraron su preocupación por que siguiera avanzando. (Pecorelly, Jorge, Milton, Víctor, Luis, abuelita Lucy, Blanca, Raúl Leonardo (D.E.P.), entre otros.

A todos los que han recorrido a mi lado este camino:

Erick, Alex, Cesar, Fernando y Tomas, gracias por su amistad.

Yovani, Juan Luis, Juan Carlos, Cristian, Juan Pedro, José Al, Raúl, Enrique, Juan Pablo un gran abrazo para ustedes, gracias por acompañarme en este gran viaje que es la vida.

**SALUD!!!**

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	V
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	VII
<b>GLOSARIO</b> .....	IX
<b>RESUMEN</b> .....	XI
<b>OBJETIVOS</b> .....	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XV
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	1
<b>1.1 Aguas Residuales</b> .....	1
1.1.1 Características físicas.....	1
1.1.1.1 Sólidos.....	1
1.1.1.2 Turbiedad.....	4
1.1.1.3 Color.....	4
1.1.1.4 Transmitancia/Absorbancia.....	5
1.1.1.5 Olor.....	6
1.1.1.6 Temperatura.....	6
1.1.1.7 Densidad.....	7
1.1.1.8 Conductividad.....	8
1.1.2 Características químicas inorgánicas.....	8
1.1.2.1 pH.....	9
1.1.2.2 Nitrógeno.....	9
1.1.2.3 Fósforo.....	11
1.1.2.4 Cloruros.....	13

1.1.2.5	Azufre.....	13
1.1.2.6	Metales.....	14
1.1.2.7	Gases.....	15
1.1.3	Características químicas de compuestos orgánicos .....	15
1.1.3.1	Demanda bioquímica de oxígeno.....	16
1.1.3.2	Demanda química de oxígeno.....	18
1.1.3.3	Carbono orgánico total.....	19
1.1.3.4	Grasas y aceites.....	19
1.1.3.5	Características biológicas.....	20
<b>1.2</b>	<b>Tratamiento de aguas residuales.....</b>	<b>21</b>
1.2.1	Tratamiento primario.....	22
1.2.1.1	Remoción de sólidos.....	22
1.2.1.2	Remoción de arena.....	23
1.2.1.3	Sedimentación.....	23
1.2.2	Tratamiento secundario.....	24
1.2.2.1	Filtros de desbaste.....	25
1.2.2.2	Lodos activados.....	25
1.2.2.3	Camas filtrantes (camas de oxidación).....	25
1.2.2.4	Placas rotativas y espirales.....	26
1.2.2.5	Reactor biológico de cama móvil.....	26
1.2.2.6	Filtros aireados biológicos.....	27
1.2.2.7	Reactores biológicos de membrana.....	27
1.2.3	Tratamiento terciario.....	27
1.2.3.1	Filtración.....	28
1.2.3.2	Lagunas.....	28
1.2.3.3	Humedales construidos o lagunas artificiales.....	28
1.2.3.4	Remoción de nutrientes.....	29
1.2.3.5	Desinfección.....	30

1.2.4	Tratamiento del lodo.....	31
1.2.4.1	Digestión anaeróbica.....	32
1.2.4.2	Digestión aeróbica.....	33
<b>1.3</b>	<b>Plantas de tratamiento tipo wetland.....</b>	<b>35</b>
1.3.1	Sistemas de flujo sumergido horizontal (SFS-h).....	36
1.3.2	Sistemas de flujo sumergido vertical (SFS-v).....	37
1.3.3	Sistemas con flujo superficial libre (FWS).....	38
<b>1.4</b>	<b>Atitlán.....</b>	<b>41</b>
1.4.1	Santa Cruz La Laguna.....	43
<b>2</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>45</b>
<b>2.1</b>	<b>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Santa Cruz.....</b>	<b>45</b>
2.1.1	Pre-tratamiento.....	45
2.1.2	Tratamiento primario.....	46
2.1.3	Tratamiento secundario.....	46
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>
	<b>DATOS ORIGINALES.....</b>	<b>83</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Sistema de flujo sumergido horizontal.....	37
2. Sistema de flujo sumergido vertical.....	38
3. Sistema de flujo superficial libre.....	39
4. Mapa del departamento de Sololá.....	44
5. Diagrama de flujo PTAR de Santa Cruz La Laguna.....	47
6. Diagrama de proceso PTAR de Santa Cruz La Laguna.....	48
7. Diagrama tratamiento primario modificado. (Planta).....	63
8. Diagrama tratamiento primario modificado. (Elevación).....	64
9. Diagrama planta de tratamiento.....	71
10. Diagrama tratamiento primario. (Planta).....	73
11. Diagrama tratamiento primario (Elevación).....	74
12. Fotografía de caja de excedencias .....	75
13. Fotografía trampa de sólidos y desarenador.....	76
14. Fotografía sedimentadores.....	77
15. Fotografía trampa de grasa.....	78
16. Fotografía tubería de salida de sedimentadores hacia patio de secado de lodos.....	79
17. Fotografía pantanos artificiales.....	80
18. Fotografía recámara con tul seco.....	80
19. Fotografía segundo wetland.....	81
20. Fotografía tanque de oxidación.....	82

## TABLAS

I. Distribución para sólidos encontrados en agua residual.....	3
II. Efecto del tamaño de las partículas biodegradables presentes en aguas residuales sobre el coeficiente cinético de reacción de DBO	18
III. Datos socioeconómicos para la región de Sololá.....	42
IV. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Cruz La Laguna.....	49
V. Eficiencia para el tratamiento primario.....	50
VI. Eficiencia para el tratamiento Secundario.....	50
VII. Evaluación de campo de la planta de tratamiento.....	51
VIII. Resultados análisis planta de tratamiento.....	65
IX. Parámetros Químicos y Bacteriológicos del agua en diferentes puntos del Lago de Atitlán.....	70

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>mg</b>	Miligramo
<b>L</b>	litro
<b>m<sup>3</sup></b>	metro cúbico
<b>u Pt-Co</b>	Unidades de platino cobalto
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	Flujo de agua residual captado por la planta de tratamiento.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno. Medida del contenido de materia orgánica en el agua, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno. Medida del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en el agua, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
<b>Efluente</b>	Aguas descargadas por la planta de tratamiento.
<b>Eutrofización</b>	Proceso de envejecimiento en los lagos durante el cual el agua se sobreenriquece de sustancias nutritivas disueltas, lo que da por resultado un gran desarrollo de algas y otras plantas.
<b>Evapotranspiración</b>	Evaporación de las superficies del suelo, lagos y corrientes debido a la transpiración de las plantas.

<b>Lodos</b>	Semisólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándoles un valor numérico.
<b>PTAR</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

## RESUMEN

En el siguiente trabajo se realizó una evaluación del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Cruz La Laguna, departamento de Sololá. El objetivo de esta evaluación fue identificar y proponer cambios que pretenden mejorar su operación e incrementar su eficiencia. Para esto se realizaron inspecciones a la PTAR que incluyeron análisis de las aguas residuales, para los cuales se realizaron tomas de muestras en distintos puntos del sistema, a dichas muestras se les analizaron los principales parámetros para aguas residuales como la DQO, DBO, SS, pH y temperatura, entre otros.

A partir de los resultados se determinó la eficiencia de la PTAR, en términos de los porcentajes de remoción, por medio de la comparación de los datos encontrados en la entrada y en la salida tanto del tratamiento primario como de la planta en general. Se determinó que la eficiencia de la PTAR para la remoción de DQO y DBO (71.6% y 69.64% respectivamente), así como para la remoción de sólidos sedimentables (91%) y sólidos suspendidos (72.97%). El análisis de cada etapa determinó que la etapa de tratamiento primario es la que opera con mayor deficiencia y por esto es en esta etapa donde se proponen la mayor cantidad de cambios.

Se observó que la disponibilidad de la PTAR es menor al 40 % dado que la operación de la planta es interrumpida constantemente, debido al diseño inadecuado de algunos componentes las cuales causan obstrucciones en el sistema.



## **OBJETIVOS**

### **General:**

Evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Santa Cruz La Laguna para generar una propuesta de optimización del proceso de tratamiento.

### **Específicos:**

1. Determinar la eficiencia de la planta de tratamiento en términos de su capacidad de remoción de contaminantes bajo las condiciones actuales de operación.
2. Analizar el funcionamiento de cada unidad de la planta de tratamiento, para identificar posibles mejoras en cada uno de los procesos.
3. Presentar una propuesta de mejora del proceso de tratamiento aplicable a la PTAR.



## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el progreso humano ha dependido del acceso al agua limpia y de la capacidad de las sociedades para aprovechar el potencial del agua como recurso productivo. El acceso al agua para la vida es una necesidad humana básica, al mismo tiempo que un derecho humano fundamental (Organización de las Naciones Unidas (ONU) 2002), pero además de los hogares el agua también preserva los sistemas ecológicos y forma parte de los sistemas de producción en los que se basan los medios de sustento, lo cual es más evidente en los países en desarrollo, como el nuestro. (Ref. 5)

Guatemala cuenta con una extensa cantidad de recursos hídricos, (Ref. 4) lamentablemente, a través del tiempo han existido problemas para manejar éstos, tanto al nivel industrial como municipal y las consecuencias son evidentes. Por ejemplo, en el lago de Amatitlán no se tomaron las medidas oportunas para protegerlo de la contaminación y en la actualidad se necesitaría de una gran inversión para recuperarlo.

El lago de Atitlán, considerado uno de los más hermosos del mundo, todavía se está a tiempo para detener la contaminación, pero se debe actuar de inmediato, ya que los problemas de la misma se agravan día a día. Algunas organizaciones han tratado de hacer algo al respecto pero sus esfuerzos resultan insuficientes, sobre todo después de la tormenta tropical Stan, en octubre del 2005, la cual provocó un retroceso en los logros obtenidos, destruyendo por completo la planta de tratamiento de Panajachel. A lo anterior se le debe agregar el acelerado crecimiento demográfico, así como las

necesidades de agua para las actividades agrícolas, lo que está poniendo en riesgo el entorno de toda una región, la cual tiene como una de sus principales fuentes de ingreso el turismo.

En el siguiente trabajo se realizó una evaluación del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Cruz La Laguna, departamento de Sololá. El objetivo de esta evaluación fue identificar y proponer cambios para mejorar su operación e incrementar su eficiencia.

Para esto se realizaron inspecciones a la PTAR que incluyó análisis de las aguas residuales. Para estos análisis se realizaron tomas de muestras en distintos puntos del sistema, a dichas muestras se les analizaron los principales parámetros para aguas residuales como la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura, entre otros.

Este trabajo se realizó junto a AMSCLAE (Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del lago de Atitlán y su entorno) la cual se encarga de la administración y funcionamiento de la planta y brindó apoyo con recursos físicos como transporte terrestre y acuático, así como con la municipalidad de Santa Cruz, la cual apoyó con recurso humano (ayuda para la toma de muestras) y Cementos Progreso, S.A., quien dio financiamiento para los análisis en la planta, como parte de su programa de seguimiento, ya que dicha empresa proporcionó apoyo económico para la construcción de la planta.





# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1 Aguas Residuales**

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos.

### **1.1.1 Características físicas**

Las principales características físicas de un agua residual son su contenido de sólidos, turbidez, color, transmitancia/absorbancia, olor, temperatura, densidad y conductividad.

#### **1.1.1.1 Sólidos**

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se encuentra en la tabla número 1. Se presume que los sólidos volátiles (SV) representan la materia orgánica, a pesar de que parte de la materia orgánica no se incinere y de que algunos compuestos inorgánicos se descompongan a altas temperatura.(Ref. 2) De manera que tanto los ST como los SST poseen fracciones de sólidos fijos y sólidos volátiles y en forma similar

los sólidos disueltos totales (SDT) también están compuestos de sólidos fijos y sólidos volátiles. La prueba estandarizada para determinar los sólidos sedimentables consiste en colocar una muestra de agua residual en un cono Imhoff de 1 L. y anotar el volumen de sólidos en mililitros que sedimenta después de un período de tiempo específico (1 h). Generalmente, cerca del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas residuales municipales son sedimentables.

**Tabla I. Distribución para sólidos encontrados en agua residual.**

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
Sólidos Totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105°C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500± 50°C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500± 50°C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenida sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro más usado para la determinación de SST es el filtro Whatman de la fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximadamente 1.58 µm
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500± 50°C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500± 50°C)
Sólidos disueltos totales (SDT) (ST-SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño 0.001 a 1µm
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500± 50°C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500± 50°C)
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentarán por fuera de la suspensión dentro de un período de tiempo específico.

Fuente: Ron Crites Sistemas de Manejo de Aguas Residuales Para Núcleos Pequeños y Descentralizados. Pág. 46.

### **1.1.1.2 Turbiedad**

La turbiedad, como una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. La medición de turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). El material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa (Ref. 2)

### **1.1.1.3 Color**

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color por sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. El color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada. Dado que la medida depende del tamaño del poro del filtro, se debe especificar el tipo de filtro usado y el tamaño del poro. El color de una muestra de agua residual se determina comparando el color de la muestra y el color producido por soluciones de diferente concentración de Cloroplatinato de potasio ( $K_2PtCl_6$ ). Una unidad de color corresponde al color generado por 1.0 mg/L de platino. Las fuentes de color en aguas residuales incluyen la infiltración y aportes de conexiones erradas en sistemas de recolección, descargas industriales y la descomposición de compuestos orgánicos.

En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que ha sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno). El oscurecimiento de las aguas residuales se da con frecuencia debido a la formación de varios sulfuros, en particular sulfuro ferroso (FeS). La formación de sulfuros ocurre cuando el ácido sulfhídrico, producido a partir de la reducción de sulfato bajo condiciones anaerobias, se combina con metales divalentes que pueden estar presentes en las aguas residuales, como el hierro.

#### 1.1.1.4 Transmitancia/absorbancia

La transmitancia, definida como la capacidad de un líquido de transmitir luz de una longitud de onda específica, a través de una solución de espesor conocido, se calcula a partir de la siguiente relación:

$$T = \left( \frac{I}{I_o} \right) 100 \quad (\text{EC. 1})$$

donde  $T = \%$  de transmitancia,  $I =$  intensidad final de luz (radiación) transmitida después de pasar a través de una solución de espesor conocido e  $I_o =$  intensidad inicial de luz (radiación) incidente.

La transmitancia es medida en un espectrofotómetro que utiliza una longitud de onda específica. El porcentaje de transmitancia es afectado por todas las sustancias presentes en las aguas residuales capaces de absorber o dispersar luz. Las principales sustancias que afectan el porcentaje de transmitancia en aguas residuales incluyen algunos compuestos inorgánicos

como el cobre y el hierro, compuestos orgánicos como tintes orgánicos, sustancias húmicas, y compuestos con anillos conjugados, como benceno y tolueno, y sólidos suspendidos totales.

#### **1.1.1.5 Olor**

La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, es decir, el olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido). Otros compuestos como indol, eskatol y mercaptanos, formados bajo condiciones anaerobias, pueden causar olores mucho más ofensivos que el del sulfuro de hidrógeno. Los olores pueden ser medidos mediante métodos sensoriales e instrumentales. La medición sensorial de olores empleando el sentido del olfato de los humanos puede generar información importante en niveles de detección muy bajos. Por ello, con frecuencia el método sensorial se usa para medir olores en plantas de tratamiento.

#### **1.1.1.6 Temperatura**

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimientos como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de

la temperatura. La temperatura de una agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies que existan en un cuerpo receptor. Las instalaciones industriales que usen fuentes de agua superficial para los sistemas de enfrentamiento tienen particular interés en la temperatura del agua captada. Además, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en la velocidad de las reacciones bioquímicas, como consecuencia de incremento en la temperatura de las aguas superficiales, puede ocasionar una drástica disminución en la concentración del oxígeno disuelto durante los meses de verano.

#### **1.1.1.7 Densidad**

La densidad del agua residual se define como su masa por unidad de volumen y se expresa como g/L o  $\text{kg/m}^3$  en medidas del sistema internacional (SI). La densidad es una característica física para establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. La densidad del agua residual doméstica que no contiene cantidades significativas de desecho es prácticamente de igual valor a la del agua pura a una misma temperatura.

### **1.1.1.8 Conductividad**

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica (Ref. 2). Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). En la actualidad, el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego es la CE; es así como la salinidad de determinada agua residual tratada que se desea usar para riego se establece mediante la medición de su conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica se expresa como milisiemens por m (mS/m) en unidades del SI.

### **1.1.2 Características químicas inorgánicas**

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados en inorgánicos y orgánicos. Los constituyentes inorgánicos incluyen elementos individuales como calcio (Ca), cloruro (Cl), hierro (Fe), cromo (Cr) y zinc (Zn); también incluyen una amplia variedad de compuestos como nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4$ ).

Los constituyentes químicos inorgánicos de interés comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases. Entre los nutrientes inorgánicos están amoníaco libre, nitrógeno orgánico (determinado como amoníaco por digestión de la muestra), nitritos, fósforo orgánico, y fósforo inorgánico. El nitrógeno y el fósforo son de gran importancia, ya que han sido identificados como nutrientes causantes principales del crecimiento indeseable

de plantas acuáticas. Otras pruebas, como pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizados para estimar la capacidad de reutilización de aguas residuales tratadas y también como pruebas para el control de varios procesos de tratamiento. Las pruebas para metales y para otros constituyentes son usadas para estimar la capacidad de digestión de biosólidos y el compostaje de lodos en aplicaciones sobre el suelo.

#### **1.1.2.1 PH**

La expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo del la concentración de hidrógeno:

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (\text{Ec. 2})$$

La concentración del ion hidrógeno se mide generalmente en forma instrumental empleando un potenciómetro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH.

#### **1.1.2.2 Nitrógeno**

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben acá el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Cantidades traza de otros elementos, como el hierro, también son necesarios para el crecimiento biológico, pero el nitrógeno y el fósforo son en la mayoría de los casos los nutrientes más importantes. Debido a que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesitan conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea

insuficiente será necesario adicionarlo para lograr que el agua residual sea tratable. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de ion amonio como en forma de amoniaco, dependiendo del pH de la solución, de acuerdo con la siguiente reacción de equilibrio:



Para valores de pH superiores a 9.3, el equilibrio se desplaza hacia la derecha predominando el amoniaco, mientras que para valores por debajo de 9.3 existe un predominio de la concentración del ion amonio. En aguas residuales con contenidos bajos de sólidos suspendidos, el nitrógeno amoniacal puede medirse por métodos colorimétricos al adicionarse el reactivo de Nessler y posteriormente observarse la intensidad del color amarillo impartido a la solución por el coloide formado. Para evitar la interferencia producida por los sólidos presentes en muestras muy concentradas, el nitrógeno amoniacal es evaporado antes de la prueba de Nesslerización descrita anteriormente. El nitrógeno amoniacal también puede ser determinado por titulación o con electrodos de ion específico.

El nitrógeno en forma de nitrito es un indicador de contaminación previa al proceso de estabilización y rara vez su concentración excede 1 mg/L en agua residual o 0.1 mg/L en agua superficial o subterránea. A pesar de estar presente en concentraciones tan bajas, los nitritos son de gran importancia en estudios de aguas residuales o aguas contaminadas porque son altamente tóxicos para muchos peces y otras especies acuáticas. Los nitritos presentes

en aguas residuales tratadas son oxidados por adición de cloro, lo cual ocasiona un aumento en la demanda de cloro y en los costos de desinfección.

El nitrógeno en forma de nitrato, la especie química del nitrógeno más oxidada que se encuentra en aguas residuales, se determina por lo común por métodos colorimétricos. Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la carga de acuíferos, la concentración de nitratos es importante. Debido a las normas que ha fijado la US EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés.), la concentración de nitratos en aguas para consumo no debe superar el valor límite de 45 mg/L como  $\text{NO}_3^-$  (10 mg/L como  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) dadas sus graves y, ocasionalmente, fatales consecuencias sobre la población infantil. Los nitratos pueden reducirse a nitritos en el estómago de los niños y, de esta forma, unirse a la hemoglobina ocasionando una reducción en la transferencia de oxígeno a nivel celular que se manifiesta en el color azulado de la piel, condición denominada síndrome del bebé azul, o en términos médicos metahemoglobinemia. La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/L como N, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento.

#### **1.1.2.2 Fósforo**

El fósforo también es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural. Las aguas residuales municipales, por ejemplo, pueden contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como P. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y

fósforo orgánico. Los ortofosfatos (p. Ej.,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y complejos  $\text{HPO}_4^{-2}$ ) están disponibles para el metabolismo biológico sin que sea necesaria una ruptura posterior. La distribución de las varias especies de fosfatos es una función estricta del pH.

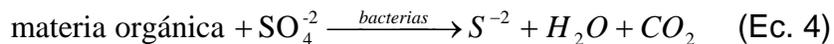
Los polifosfatos incluyen aquellas moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y en algunos casos átomos de hidrógeno combinados en moléculas complejas (p. Ej.,  $\text{P}_2\text{O}_7^{-4}$ ,  $\text{HP}_2\text{O}_7^{-3}$ ,  $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7^-$  y complejos de  $\text{HP}_2\text{O}_7^{-3}$ ,  $\text{H}_3\text{P}_3\text{O}_{10}^{-2}$ ). Los polifosfatos sufren hidrólisis en soluciones acuosas y se convierten en ortofosfatos, sin embargo, el proceso de hidrólisis es con frecuencia bastante lento. El fósforo enlazado a compuestos orgánicos carece de importancia en muchos residuos domésticos, pero puede ser un constituyente importante de residuos industriales y lodos de aguas residuales.

#### 1.1.2.4 Cloruros

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que ellas hacen contacto. En áreas costeras, las concentraciones de cloruros pueden provenir de la intrusión de las aguas salinas y salobres. Otras fuentes potenciales de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas a las aguas superficiales. Debido a que los métodos convencionales de tratamiento no eliminan cloruros en cantidades significativas, concentraciones superiores a las normales pueden tomarse como un indicio de que la fuente de agua está siendo usada para el vertido de aguas residuales.

#### 1.1.2.5 Azufre

El ion sulfato se encuentra en forma natural, tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas, y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) al combinarse con el hidrógeno. A continuación se muestran las reacciones generales que rigen estos procesos:



Si el ácido láctico se usa como compuesto orgánico precursor, la reducción de sulfato a sulfuro ocurre así:



El sulfuro de hidrógeno liberado a la atmósfera en redes de alcantarillado que no circulan a presión, tiende a acumularse en la corona de las tuberías. El H<sub>2</sub>S acumulado puede oxidarse biológicamente y convertirse en ácido sulfúrico, el cual es corrosivo para las tuberías del alcantarillado. Este efecto corrosivo se conoce como “efecto corona”, el cual puede amenazar seriamente la integridad estructural de las tuberías. La presencia de H<sub>2</sub>S en el gas generado como producto de la digestión anaerobia lo hace corrosivo para las conducciones de gas, y si se usa como combustible en motores, los productos de la combustión pueden causar daños al motor, provocando graves corrosiones en el circuito de recuperación térmica de los gases de escape, en especial si se permite el enfriamiento de tales gases por debajo del punto de condensación.

#### **1.1.2.6 Metales**

Todos los organismos vivos requieren para su adecuado crecimiento elementos como hierro, cromo, cobre, cinc, cobalto en cantidades diferentes. Aunque las cantidades macro y micro de metales son esenciales para un normal desarrollo de la vida biológica, estos elementos pueden llegar a ser tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas. Cuanto más se utilicen las aguas residuales tratadas para riego agrícola y de zonas verdes, una mayor variedad de metales se debe determinar para estimar los efectos adversos que puedan ocurrir. Los elementos calcio, magnesio y sodio son importantes para determinación de la relación de la adsorción de sodio (RAS), usada para estimar la posibilidad de emplear efluentes tratados en riego agrícola.

### **1.1.2.7 Gases**

La determinación de gases disueltos tales como amoniacos, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno, se realiza para ayudar en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las mediciones de oxígeno disuelto y amoniacos se realizan para controlar y monitorear los procesos de tratamiento biológico aerobios.

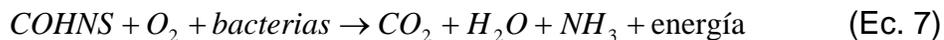
### **1.1.3 Características químicas de compuestos orgánicos agregados**

La materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%), grasas y aceites (8 a 12%) (Ref. 1). La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas. (Ref. 1) Además de proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, con estructuras que van desde las más simples hasta las extremadamente complejas. En la actualidad, los métodos de laboratorio comúnmente usados para medir cantidades de materia orgánica en aguas residuales incluyen: la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días ( $DBO_5$ ), la demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (COT), grasas y aceites.

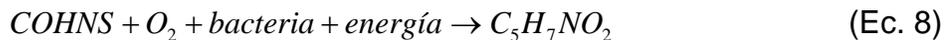
### 1.1.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. Tres actividades más o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular, este tercer proceso es llamado respiración endógena. El término usado para representar los desechos orgánicos es COHNS (el cual representa los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre), y para el tejido celular es  $C_5H_7NO_2$ ; los tres procesos se definen por las siguientes reacciones químicas:

Oxidación



Síntesis



Respiración endógena



Si se considera sólo la oxidación del carbono orgánico presente en el desecho, el oxígeno requerido para completar las tres reacciones anteriores es llamado DBO última. Esta demanda de oxígeno se conoce como última

carbonácea o primera etapa de la DBO, y generalmente se denota como DBOU. Para una prueba estándar de DBO, una pequeña muestra de agua residual se coloca en una botella de DBO (volumen de 300 ml.). La botella se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno. Después de incubar la botella por cinco días a 20°C la concentración de oxígeno disuelto se mide de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada. El valor calculado de DBO se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y 20°C.

Un aspecto importante es el efecto del tamaño de las partículas sobre la velocidad de reacción de la DBO, si se usa una técnica de separación y análisis como la filtración por membrana para cuantificar la distribución de tamaño de los sólidos presentes en las aguas residuales crudas, las diferentes fracciones, de tamaño pueden correlacionarse con las velocidades de consumo de oxígeno (DBO). Los coeficientes de velocidad de reacción de la DBO son afectados significativamente por el tamaño de las partículas del agua residual. Como se muestra en la siguiente tabla, los coeficientes de velocidad de reacción de la DBO son afectados significativamente por el tamaño de las partículas del agua residual y por lo tanto el proceso de tratamiento de aguas residuales se puede afectar al modificar la distribución del tamaño de las partículas.

**Tabla II. Efecto del tamaño de las partículas biodegradables presentes en aguas residuales sobre el coeficiente cinético de reacción de DBO**

Fracción	Tamaño $\mu\text{m}$	K (base 10), $\text{d}^{-1}$
Sedimentables	>100	0.08
Supracoloidales	1-100	0.09
	Coloidales	0.1-1.0
Solubles	<0.1	0.39

### 1.1.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de Dicromato en medio ácido (Ref. 1). Aunque se podría esperar que el valor de la DBO última fuera similar al de la DQO, éste sería un caso fortuito. Algunas razones para explicar tal diferencia se enumeran a continuación:

1. Muchas sustancias orgánicas las cuales son difíciles de oxidar biológicamente, tales como la lignina, pueden ser oxidadas químicamente.
2. Las sustancias inorgánicas que se oxidan con Dicromato aumentan evidentemente el contenido orgánico de la muestra.
3. Algunas sustancias orgánicas pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en la prueba de la DBO

4. Valores altos de DQO se pueden obtener por la presencia de sustancias inorgánicas con las cuales el Dicromato puede reaccionar.

#### **1.1.3.3 Carbono Orgánico Total (COT)**

El COT de determinada agua residual puede usarse como medida de su polución y en algunos casos ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO. La ventaja que el COT tiene a su favor radica en que el ensayo sólo tarda de 5 a 10 minutos. Si se puede obtener una relación válida entre resultados del COT y la DBO en agua residual, entonces se recomienda el uso del COT para control de los procesos.

#### **1.1.3.4 Grasas y aceites**

La expresión “grasas y aceites” es muy usada para referirse a aceites, grasas, ceras y otros constituyentes similares encontrados en las aguas residuales. El término grasa, grasas animales y aceites (GGA) usado anteriormente en la literatura será remplazado por el término grasa y aceites. El contenido de grasas y aceites en aguas residuales se determina por extracción de la muestra de residuo con triclorotrifluoroetano (las grasas y aceites son solubles en triclorotrifluoroetano). Otras sustancias pueden ser extraídas por este método, como algunos derivados del petróleo, entre ellos kerosene, aceites lubricantes y aceites de materiales bituminosos empleados en la construcción de pavimento para carreteras. En términos químicos, las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares, pues básicamente son ésteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol (glicerina). De estos triglicéridos, aquellos que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente se denominan aceites, y los que permanecen en estado sólido se llaman grasas.

Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales pueden causar muchos problemas en tanques sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales. La formación de natas sobre la superficie de tanques sépticos debe ser removida periódicamente; de no ser así, el espacio comprendido entre la superficie y la zona de lodos se ve reducido, provocando el arrastre de sólidos al segundo compartimiento o a los sistemas de vertimiento como campos de infiltración ocasionando una saturación prematura.

Si las grasas y aceites no se remueven en los procesos de pretratamiento de aguas residuales, tenderán a acumularse posteriormente en los procesos siguientes. Si las grasas no se remueven antes de descargar las aguas residuales tratadas, podrían interferir con la vida biológica en la superficie de las fuentes receptoras creando películas desagradables a la vista.

#### **1.1.3.5 Características biológicas**

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

## 1.2 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales (o agua residual doméstica) incorpora procesos físicos, químicos y biológicos que tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua residual ya limpia (o efluente tratado) sustituido por descargas o reutilizables hacia el ambiente, y una basura sólida o lodos también convenientes para su futura reutilización.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Esto puede ser tratado dentro del sitio en el cual es generado (por ejemplo: tanques sépticos o dentro de las mismas plantas) o recogido y llevado, mediante una red de pipas y una bomba estacionaria a una planta de tratamiento municipal.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales es alcanzado por la separación física inicial de sólidos de la corriente de aguas industriales, seguido por la conversión progresiva de materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias nativas. Una vez que la masa biológica es separada o removida, el agua tratada puede experimentar una desinfección adicional mediante procesos físicos o químicos. Este efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (tierras húmedas, curso de golfo, caminos verdes, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento adicional y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

En una planta de tratamiento de aguas residuales ocurren distintos tipos de tratamiento:

Tratamiento físico químico

- Remoción de sólidos
- Remoción de arena
- Precipitación

Tratamiento biológico

- Camas oxidantes o sistemas aeróbicos
- Post-precipitación
- Efluentes

Tratamiento químico

Este paso es usualmente combinado con procesos que colocan y otros para remover sólidos como la filtración.

### **1.2.1 Tratamiento primario**

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico

#### **1.2.1.1 Remoción de sólidos**

En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para remover todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado, tal como, trapos, barras, condones, toallas sanitarias, tampones, latas, papel higiénico, etc. Éste es usado más comúnmente mediante una pantalla rastrillada automatizada mecánicamente. Este tipo de basura es removido porque esto puede dañar el equipo sensible en la planta de

tratamiento de aguas residuales, además los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.

#### **1.2.1.2 Remoción de arena.**

Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan ser removidas oportunamente en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento. Algunas veces hay baños de arena (clasificador de la arena) seguidos de un sistema que transporta la arena a un contenedor para la deposición. El contenido del colector de arena podría ser alimentado en el incinerador en un procesamiento de planta de lodos, pero en muchos casos la arena es enviada a un terraplén.

#### **1.2.1.3 Sedimentación**

Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse. El propósito principal de la etapa primaria es producir generalmente un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y de un lodo que puede ser tratado separadamente. Los tanques conducen continuamente el lodo recogido hacia una tolva en la base

del tanque donde mediante una bomba puede llevar a éste hacia otras etapas del tratamiento.

### **1.2.2 Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario es designado para substancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales tratan el licor de las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos. Para que sea efectivo el proceso biótico, requiere oxígeno y un substrato para vivir. Hay una gran cantidad de métodos para hacer esto, y en todos los métodos, las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas de floculó. Los sistemas de tratamiento secundario se clasifican en sistemas de película fija y sistemas de crecimiento suspendido. En los sistemas fijos de película, como los filtros de roca, la biomasa crece en el medio y el agua residual pasa a través de él. En el sistema de crecimiento suspendido, como los lodos activados, la biomasa está bien combinada con las aguas residuales. Típicamente, los sistemas de película fija requieren huellas más pequeñas que para un sistema de crecimiento suspendido, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendidos son más capaces ante choques en el cargamento biológico y provee cantidades más altas del retiro para el BOD y los sólidos suspendidos que sistemas de película fija.

### **1.2.2.1 Filtros de desbaste**

Los filtros de desbaste son utilizados para tratar particularmente cargas orgánicas fuertes o variables, típicamente industriales, para permitirles ser tratados por procesos de tratamiento secundario. Son filtros típicamente altos, filtros circulares llenados con un filtro abierto sintético en el cual las aguas residuales son aplicadas en una cantidad relativamente alta. El diseño de los filtros permite una alta descarga hidráulica y un alto flujo de aire. En instalaciones más grandes, el aire es forzado a través del medio usando sopladores. El líquido resultante está usualmente con el rango normal para los procesos convencionales de tratamiento.

### **1.2.2.2 Lodos activados**

Las plantas de lodos activados usan una variedad de mecanismos y procesos para usar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven substancialmente materia orgánica. También puede atrapar partículas de material y puede, bajo condiciones ideales, convertir amoníaco en nitrito y nitrato y en última instancia a gas nitrógeno.

### **1.2.2.3 Camas filtrantes (camas de oxidación)**

Se utiliza la capa filtrante de goteo utilizando plantas más viejas y plantas receptoras de cargas más variables, las camas filtrantes son utilizadas donde el licor de las aguas residuales es rociado en la superficie de una profunda cama compuesta de coke (carbón, piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos). Tales medios deben tener altas superficies para soportar las películas biológicas que se formen. El licor es distribuido mediante unos brazos

perforados rotativos que irradian de un pivote central. El licor distribuido gotea en la cama y es recogido en drenes en la base. Estos drenes también proporcionan un recurso de aire que se infiltra hacia arriba de la cama, manteniendo un medio aerobio. Las películas biológicas de bacteria, protozoarios y hongos se forman en la superficie media y se comen o reducen los contenidos orgánicos. Esta película biológica es alimentada a menudo por insectos y gusanos, los cuales atraen aves.

#### **1.2.2.4 Placas rotativas y espirales**

En algunas plantas pequeñas son usadas placas o espirales de revolvimiento lento que son parcialmente sumergidas en un licor. Se crea un flóculo biótico que proporciona el substrato requerido.

#### **1.2.2.5 Reactor biológico de cama móvil**

El reactor biológico de cama móvil (MBBR, por sus siglas en inglés) asume la adición de medios inertes en vasijas de lodos activados existentes para proveer sitios activados para que se adjunte la biomasa. Esta conversión hace como resultante un sistema de crecimiento. Las ventajas de los sistemas de crecimiento ajunto son:

- a. Mantener una alta densidad de población y biomasa
- b. Incrementar la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración del licor mezclado de sólidos (MLSS)
- c. Eliminar el costo de operación de la línea de retorno de lodos activados.

### **1.2.2.6 Filtros aireados biológicos**

Filtros aireados (o anóxicos) biológicos (BAF) combinan la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. BAF incluye usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie de filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos del filtro. La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un solo reactor mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica. BAF es también operado en flujo alto o flujo bajo dependiendo del diseño especificado por el fabricante.

### **1.2.2.7 Reactores biológicos de membrana**

Los reactores biológicos de membrana (MBR) son sistemas con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de lodos. Esta tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y algunos disueltos. La limitación de los sistemas MBR es directamente proporcional a la eficaz reducción de nutrientes del proceso anterior con los lodos activados. El costo de construcción y operación de MBR es usualmente más alto que el de un tratamiento de aguas residuales convencional.

## **1.2.3 Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). Más de un proceso terciario del

tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada a “pulir”el efluente.

### **1.2.3.1 Filtración**

La filtración de arena remueve gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración remueve las toxinas residuales.

### **1.2.3.2 Lagunas**

El tratamiento de lagunas proporciona el establecimiento necesario y fomenta la mejora biológica de almacenaje en charcos o lagunas artificiales. Estas lagunas son altamente aerobias y la colonización por los macrophytes nativos, especialmente cañas se dan a menudo. Los invertebrados de alimentación del filtro pequeño tales como Daphia y especies de Rotifera asisten grandemente al tratamiento removiendo partículas finas.

### **1.2.3.3 Humedales construidos o pantanos artificiales**

Los pantanos artificiales incluyen camas de caña que proporcionan un alto grado de mejora biológica aerobia y pueden ser utilizados a menudo en lugar del tratamiento secundario para las comunidades pequeñas.

#### 1.2.3.4 Remoción de nutrientes

Las aguas residuales pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir las toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y sofocar los peces y demás vida acuática. Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o las mares bajas, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la limpieza del agua. El retiro del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco al nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción, el nitrato es convertido a gas nitrógeno (desnitrificación), que se emite a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno. Algunas veces, la conversión del amoníaco tóxico al nitrato solamente se refiere a veces como tratamiento terciario.

El retiro del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo. En este proceso específicamente bacteriano, las bacterias llamadas Polyphosphate acumulan organismos, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades de fósforo dentro de

sus células. Cuando la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los biosólidos generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo alumbre). El lodo químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso de tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, el retiro químico del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar.

#### **1.2.3.5 Desinfección**

La desinfección en el tratamiento de aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada, del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante, y de otras variables ambientales. EL agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, cloro, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en gran parte del mundo debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al

ambiente. El cloro o las chloraminas residuales pueden también ser capaces de tratar el material con cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la cloro residual es toxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en el Reino Unido, debido a las preocupaciones por los impactos del cloro en el tratamiento de aguas residuales y en la cloración orgánica en aguas receptora. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacteria, virus y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuente de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos no estén blindados a la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

#### **1.2.4 El tratamiento del lodo**

Los sólidos primarios gruesos y los biosólidos secundarios acumulados en un proceso del tratamiento de aguas residuales se deben tratar y disponer de una manera segura y eficaz. Este material a menudo se contamina inadvertidamente con los compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (por ejemplo: metales pesados). El propósito de la digestión es reducir la cantidad de materia orgánica y el número de los microorganismos presentes en los sólidos que causan enfermedades. Las opciones más comunes del tratamiento incluyen la digestión anaerobia, la digestión aerobia, y el abonamiento.

#### **1.2.4.1 Digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia de aire. El proceso puede ser la digestión termofílica en la cual el lodo se fermenta en tanques en una temperatura de 55°C o mesofílica, en una temperatura alrededor de 36°C. Sin embargo permitiendo tiempo de una retención más corta, así en los pequeños tanques, la digestión termofílica es más expansiva en términos de consumo de energía para calentar el lodo.

La digestión anaerobia genera biogas con una parte elevada de metano que se puede utilizar para el tanque y los motores o las micro turbinas del funcionamiento para otros procesos en sitio. En plantas de tratamiento grandes suficiente la energía se puede generar de esta manera de producir más electricidad que las máquinas requieren. La generación del metano es una ventaja dominante del proceso anaeróbico. Su desventaja dominante es la de largo plazo requerido para el proceso (hasta 30 días) y el alto costo de capital.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Goldbar en Edmonton, Alberta, Canadá utiliza actualmente el proceso. Bajo condiciones del laboratorio es posible generar directamente cantidades útiles de electricidad del lodo orgánico usando bacterias electroquímicas activas naturales. Potencialmente, esta técnica podría conducir a una forma ecológica positiva de generación de energía, pero para ser eficaz una célula de combustible tan microbiana debe maximizar el área de contacto entre el efluente y la superficie bacteria-revestida del ánodo, que podrían obstaculizar seriamente rendimiento de procesamiento.

#### **1.2.4.2 Digestión aeróbica**

La digestión aeróbica es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la convierten en el bióxido de carbono. Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias. Esta etapa del proceso se conoce como respiración endógena. La reducción de los sólidos ocurre en esta fase. Porque ocurre la digestión aeróbica más rápidamente, los costos de capital de digestión aerobia son más bajos. Sin embargo, los gastos de explotación son característicos por ser mucho mayores para la digestión aeróbica debido a los costes energéticos para la aireación necesitada para agregar el oxígeno al proceso.



### 1.3 Plantas de tratamiento wetland

Este tipo de plantas de tratamiento de aguas tiene claras ventajas económicas (bajos costos de gestión y un reducido consumo de energía) y los excelentes rendimientos depurativos han hecho que algunos países hayan adoptado masivamente estos sistemas.

Reutilizar las aguas servidas, una vez depuradas de forma oportuna contribuye a reducir notablemente el desperdicio de aguas de buena calidad (agua potable), cuya disponibilidad a un costo razonable es cada vez más problemática. Además, la excelente inserción ambiental ha representado otro aspecto positivo en la evaluación de dichos sistemas; de hecho la Comunidad Europea en los últimos años ha favorecido la financiación de estos sistemas en lugar de los sistemas convencionales con mayor contenido tecnológico.(USA-EPA, 832-F-00-024)

Para este tipo de plantas de tratamiento se pueden diferenciar varios tipos de sistemas utilizados, según las distintas exigencias y en función del objetivo que se tiene con respecto a los niveles de depuración. Entre los distintos modelos que han sido más satisfactorios en términos de rendimientos depurativos, impacto higiénico-sanitario, simplicidad y adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales son los siguientes:

- Sistema con flujo sumergido horizontal
- Sistema con flujo sumergido vertical
- Sistema con flujo superficial

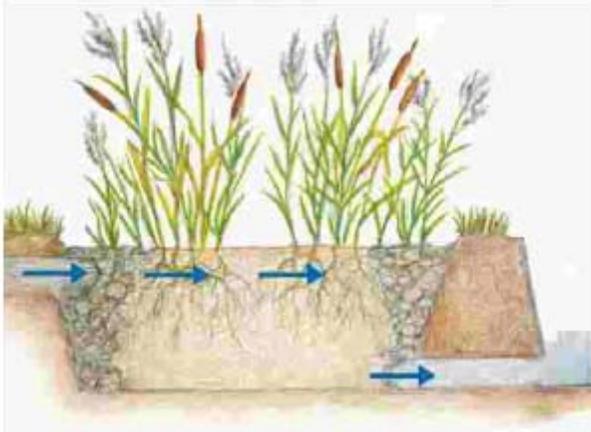
### **1.3.1 Sistema con flujo sumergido horizontal (SFS-h)**

Se presentan como fosas excavadas en el terreno, con un agujero de aproximadamente un metro y selladas mediante membranas sintéticas en el fondo. El material de relleno de la fosa esta construido por materiales inertes: grava fina y piedras, cuya granulometría viene escogida oportunamente para permitir la difusión optima de las aguas servidas en la fosa.

Las aguas se introducen en el sistema a través de una tubería, cuyo tamaño corresponde a la longitud transversal de la fosa y despacio fluyen a través del sistema a raíz de una ligera pendiente del fondo de la cama (entre 1% y 5%), manteniéndose siempre bajo el nivel de la superficie, hasta alcanzar una tubería de drenaje que permite a las aguas salir del sistema. En el interior del sistema generalmente se siembran plantas acuáticas pertenecientes a los géneros Phragmites, Typha, Scirpus; cuyas raíces se desarrollan en el relleno. Estas plantas funcionan como bombas naturales capaces de transferir oxígeno atmosférico al interior del medio de relleno de las fosas donde viven colonias de bacterias capaces, en condiciones aerobias, de descomponer la materia orgánica y de nitrificar. En las zonas mas lejanas de las raíces se da un ambiente anaeróbico perfecto para el proceso de desnitrificación.

Estos sistemas pueden eliminar hasta el 99% de la carga bacteriana y en particular de las bacterias patógenas. Además de eso, las plantas absorben los metales presentes en el líquido a tratar, mientras que los materiales inertes de relleno permiten la remoción del fósforo por absorción.

**Figura 1. Sistema de flujo sumergido horizontal.**



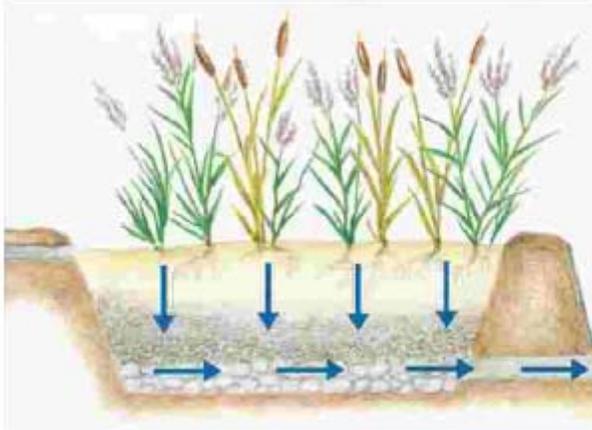
Fuente: Beatrice Pucci, Depuración Natural de las Aguas. Pág. 7

### **1.3.2 Sistemas con flujo sumergido vertical (SFS-v)**

Se diferencian de los sistemas con flujo sumergido horizontal por la modalidad de distribución del líquido al interior de las fosas, que ocurre de forma intermitente, y por el flujo hidráulico que en este caso es preferentemente vertical.

Una ulterior diferencia consiste en las distintas características del medio del relleno que está compuesto por algunas capas de gravas y arenas de diámetro variable, desde una capa de arena en la superficie hasta llegar a una capa de pedrisco sobre el sistema de drenaje del fondo. La modalidad de alimentación del sistema vertical permite una mayor oxigenación del líquido y luego una mayor capacidad de degradación de la materia orgánica. Incluso en estos sistemas las aguas se mantienen bajo la superficie del sistema y las plantas son las mismas utilizadas en los sistemas con flujo horizontal.

**Figura 2. Sistema de flujo sumergido vertical.**



Fuente: Beatrice Pucci, Depuración Natural de las Aguas. Pág. 7

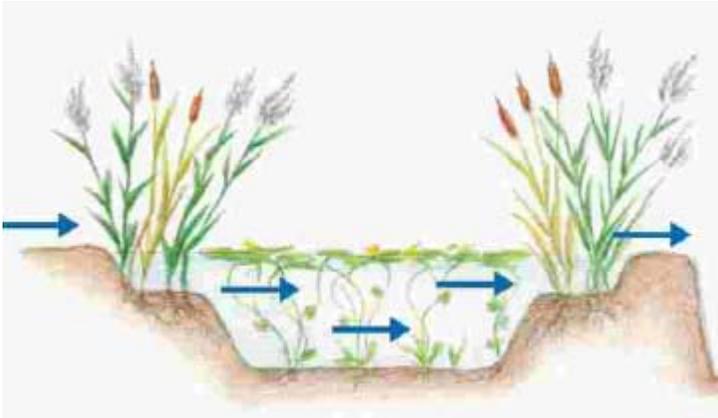
### **1.3.3 Sistemas con flujo superficial libre (FWS)**

Los sistemas con flujo superficial libre (FWS) consisten en un embalse poco hondo (entre pocos centímetros y hasta un metro), sellado con membranas sintéticas, donde el agua fluye libremente.

El sistema está diseñado de modo que se creen los ambientes adecuados para diferentes tipos de plantas a partir de aquellas acuáticas que viven sumergidas hasta aquellas flotantes, desde las elofitas que viven en las orillas hasta las hidrofitas enraizadas emergentes.

La elección de las especies vegetales viene efectuada siguiendo una serie criterios de modo de poder reproducir de la forma mas fiel la biodiversidad presente en una zona húmeda natural para garantizar el máximo poder depurativo.

**Figura 3. Sistema de flujo superficial libre.**



Fuente: Beatrice Pucci, Depuración Natural de las Aguas. Pág. 7



## 1.4 Atitlán

El Lago de Atitlán está situado en el Departamento de Sololá y es el segundo lago más grande de Guatemala y el más profundo en Centro América (promedio de 220 m y un máximo de profundidad de 342 m). Se encuentra rodeado por tres volcanes: Atitlán (3,535 m sobre el nivel del mar), San Pedro (3,020 m sobre el nivel del mar) y Tolimán (3,158 m sobre el nivel del mar), (E. Castellanos et. al. España, 2,002). Al lago descargan alrededor de 160 ríos y corrientes pero sólo dos de ellos permanecen constantes todo el año, estos son: El río Quiscab con un promedio de flujo de 1.91 m<sup>3</sup>/s, y el río Panajachel con un promedio de 0.53 m<sup>3</sup>/s, con lo que se produce una descarga total de 7694 millones de metros cúbicos por año (M. Sánchez, 2001)

De acuerdo con la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno (AMSCLAE), la contaminación en el Lago de Atitlán tiene cuatro fuentes principales: desechos sólidos (62%); aguas residuales (30%); jabones y detergentes (4.5%) y de aceites y combustibles fósiles (3.5%). Este problema se ha incrementado en los últimos años debido a la alta tasa de crecimiento demográfico en la región. Al mismo tiempo el consumo de agua se ha incrementado drásticamente con la implementación del acceso al agua en muchos hogares. Otras fuentes de contaminación (principalmente fosfatos y nitratos) son causados principalmente por la aplicación de fertilizantes en la agricultura.

El reporte de calidad del agua en el Lago de Atitlán realizado por la Universidad del Valle de Guatemala (UVG, 2002) muestra que en el área central – norte del lago (Panajachel, Tzanjuyú, Santa Cruz La Laguna), y el área sur – oeste (Santiago Atitlán), tiene la contaminación más alta en E. Coli y las más bajas concentraciones en oxígeno disuelto. (Anexo, Tabla VIII)

**Tabla III. Datos socioeconómicos para los distintos municipios en la región de Sololá.**

GEO	Información demográfica				Pobreza general			Pobreza extrema		
	Habitantes	Población urbana	Población indígena	Densidad población al Hab/Km <sup>2</sup>	% de pobreza	Índice de brecha	# estimado pobres	% de pobreza	Índice de brecha	# estimado pobres
MUNICIPIO										
Panajachel	11120	0.92	0.72	505	35.5	10.49	3948	3.63	0.69	404
Santa Catarina Palopó	2869	0.85	0.99	359	77.8	31.59	2232	19.95	4.75	572
San Antonio Palopó	10507	0.32	0.95	309	87.04	43.99	9145	40.41	11.64	4246
San Lucas Tolimán	21420	0.59	0.93	185	76.41	34.48	16367	26.97	7.07	5777
<b>Santa Cruz La Laguna</b>	<b>4197</b>	<b>0.31</b>	<b>0.99</b>	<b>350</b>	<b>89.3</b>	<b>45.94</b>	<b>3748</b>	<b>42.34</b>	<b>12.79</b>	<b>1777</b>
San Pablo La Laguna	5657	1	1.00	471	84.95	39.68	4806	32.23	8.3	1823
San Marcos La Laguna	2233	1	0.97	186	72.95	28.65	1629	17.04	3.47	381
San Juan La Laguna	8094	0.51	1.00	225	80.9	40.81	6548	38.07	11.73	3081
San Pedro La Laguna	9033	1	0.98	376	47.76	15.43	4314	6.37	1.22	575
Santiago Atitlán	32220	0.89	0.98	237	79.79	35.25	25708	26.26	6.65	8461
Sololá	63622	0.47	0.94	677	76.04	34.07	48378	26.51	7.23	16866
San José Chacayá	2433	0.27	0.96	55	74.95	33.58	1824	26.28	7.07	639
Santa Lucía Utatlán	18011	0.07	0.98	409	66.1	24.3	11905	13.37	2.95	2408
Concepción	4297	0.65	1.00	107	85.26	38.9	3664	29.99	7.67	1289
San Andrés Semetabaj	9355	0.25	0.93	195	65.24	25.92	6103	16.73	4.12	1565

Fuente: INE

### **1.4.1 Santa Cruz La Laguna**

Santa Cruz La Laguna está localizada el norte del Lago de Atitlán. El total de la población es aproximadamente de 4,200 habitantes, de los cuales sólo 2,105 viven en el área urbana con 12 km<sup>2</sup> (350 hab/km<sup>2</sup>), (INE, 2003).

Sus pobladores se dedican a la agricultura con cultivos de maíz, cereales legumbres y a la elaboración de canastos de caña y tejidos de algodón. Su distancia de Panajachel es de 27 kilómetros vía lacustre y de la cabecera departamental es de 36 kilómetros vía terrestre. Es un poblado antiguo del cual actualmente se desconoce su nombre aborigen. Son importantes sus miradores la Cumbre de San Pablo y el Cerro las Cristalinas. Entre las danzas folklóricas que se presentan en este municipio se puede mencionar la danza de "La Conquista", "El Torito", "El Venado" y "Los Mexicanos". Además del idioma español en este municipio se habla cakchiquel. (INGUAT)

Figura 4. Mapa del departamento de Sololá



Fuente: [http://www.zonu.com/mapas\\_guatemala/m\\_panajachel1x.htm](http://www.zonu.com/mapas_guatemala/m_panajachel1x.htm)

## **2. MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1 Planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Cruz la Laguna**

Esta planta de tratamiento fue construida en el 2003 y fue diseñada por dos estudiantes de doctorado de la Universidad de Waterloo de Canadá. La planta de tratamiento fue diseñada para tratar aguas residuales de 2000 habitantes del área urbana de Santa Cruz, el sistema de alcantarillado colecta las aguas residuales de dos partes de la ciudad y llegan a la planta por gravedad. La planta de tratamiento fue diseñada para una capacidad de 6 l/s y debido a las limitaciones de terreno fue construida en un área con gran pendiente. (AMSCLAE).

La Planta cuenta con pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, los cuales se describen a continuación:

#### **Pre-tratamiento:**

- A. Caja distribuidora de caudal: El objetivo de este componente es controlar el ingreso de carga de las aguas residuales al sistema de tratamiento, lo cual se hace por medio de una compuerta de manejo manual. Cuando la compuerta está cerrada el flujo continúa a través de la vía de paso, la cual desemboca al Lago.
- B. Trampa de sólidos y desarenador: Aquí son retenidos los sólidos por medio de una rejilla. Esta misma sección tiene la función de

desarenador, el cual retiene partículas de piedras, arenas y objetos con mayor peso que el agua.

### **Tratamiento primario.**

- A. Sedimentadores: Esta unidad está diseñada para disminuir la velocidad del flujo y tiene como función la reducción de sólidos suspendidos y materia orgánica.
- B. Patio de lodos: Los lodos que se acumulan en el fondo de los sedimentadores pueden ser evacuados por medio de la tubería que los conduce hacia el patio de secado donde los lodos son secados por medio de la radiación solar.
- C. Trampa de grasa: En esta sección el agua residual se acelera, recorriendo por la tubería primero con un sentido vertical hacia abajo y luego con un sentido vertical hacia arriba. El objetivo es que se provoque turbulencia y se oxigenen el agua para que las grasa floten (Ref. 14).

### **Tratamiento secundario.**

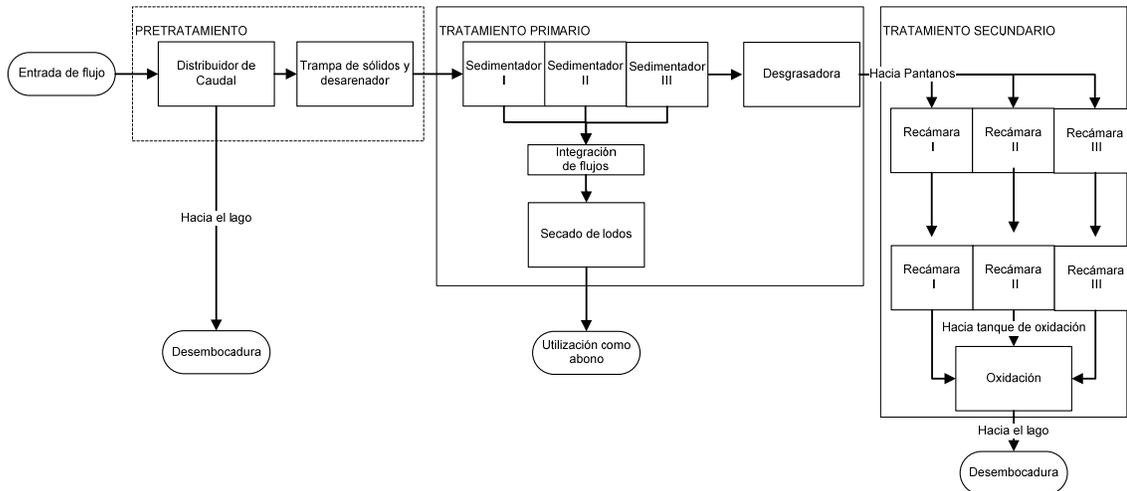
- A. Pantanos artificiales: En estos pantanos se da la descomposición y absorción de nutrientes. Están compuestos por dos secciones que trabajan en serie, cada sección esta dividida en tres recámaras, las cuales tienen como lecho filtrante arena de río y piedrín. La planta que se utiliza es el Tul (*Cirpurs californicus*), el agua residual a la salida de la trampa de grasa alimenta la primera sección de los pantanos, distribuyendo el flujo en cada una de las tres recámara que posee la sección. El flujo ya tratado es recolectado y distribuido

nuevamente hacia cada una de las recámaras de la segunda sección de pantanos (Ver. Fig. 5).

El sistema de flujo para los pantanos, es el flujo sumergido vertical y a las recámaras se les alimenta el flujo por goteo con el objetivo que permita la aireación del agua (Ref. 14).

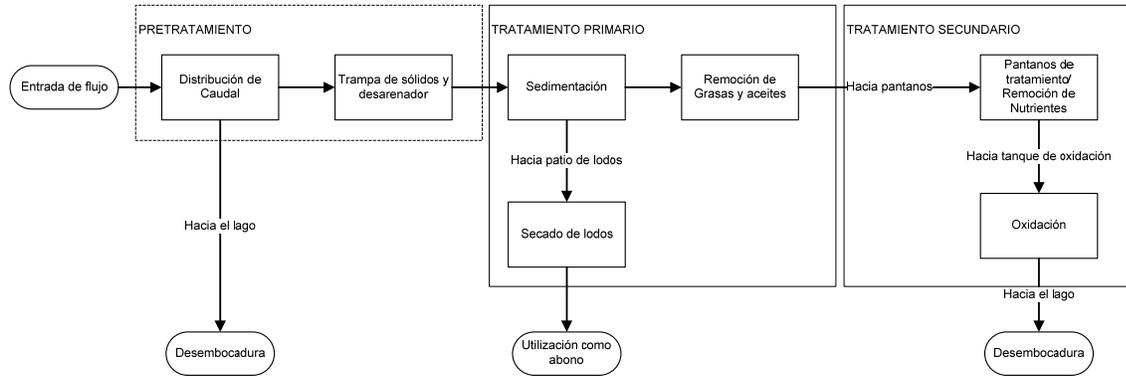
- B. Tanque de oxidación. Este tanque está diseñando para recibir toda el agua ya tratada y para reforzar el proceso de tratamiento, volver a oxigenar el agua residual y con esto minimizar el contenido de patógenos (Ref. 14).

**Figura 5. Diagrama de flujo PTAR de Santa Cruz La Laguna.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6. Diagrama de Proceso PTAR de Santa Cruz La Laguna.**



Fuente: Elaboración propia.

### 3. RESULTADOS

**Tabla IV. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Cruz la Laguna.**

<b>Parámetro</b>	<b>Eficiencia (Porcentaje de Remoción)</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	71.60 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	69.64 %
Relación DQO/DBO	1.02 %
Sólidos sedimentables	91.00 %
Sólidos suspendidos	72.97 %
Aceites y grasas	14.29 %
Fósforo total	---
Nitrógeno total	---
Color	27.33 %

Fuente: Cálculo datos originales.

**Tabla V. Eficiencia para el tratamiento primario.**

<b>Parámetro</b>	<b>Eficiencia (Porcentaje de Remoción)</b>
Sólidos sedimentables	0 %
Sólidos suspendidos	21.62 %
Aceites y Grasas	---
Nitrógeno total	---
Color	2.91 %

Fuente: Cálculo datos originales.

**Tabla VI. Eficiencia para el tratamiento secundario (Pantanos)**

<b>Parámetro</b>	<b>Eficiencia (Porcentaje de Remoción)</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	74.47 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	75.00 %
Relación DQO/DBO	0.99 %
Fósforo total	---
Nitrógeno total	---
Color	25.15 %

Fuente: Cálculo datos originales.

4. pH (in-situ) promedio de la planta de tratamiento: 6.73

5. Temperatura promedio de la planta de tratamiento: 21.20° C.

**Tabla VII. Evaluación de campo de la planta de tratamiento**

<b>Etapas/Unidad</b>	<b>Observación</b>
Pre-tratamiento/caja de excedencias	Se quedan retenidas grandes cantidades de sólidos suspendidos (Fig. 12).
Pre-tratamiento/trampa de sólidos (rejilla)	Retiene los sólidos de menor tamaño, como restos de comida y hojas (Fig. 13).
Pre-tratamiento/desarenador	La arena y piedras retenidas no pueden ser limpiadas por el operador ya que no cuenta con el equipo para realizar la limpieza. Para esto el operador debe de pararse en el borde de la unidad (1.5m de altura.) (Fig.13).
Primario/sedimentadores	En el sedimentador 1, se observa gran cantidad de natas, algunas veces es limpiado por el operador utilizando para ello una escoba (Fig. 14).
Primario/patio de secado de lodos	Las tuberías de salida en dos de los sedimentadores hacia el patio de sólidos tienen un codo de 90° (Fig. 16).
Primario/trampa de grasa	Existen derrames cuando la planta opera con toda su capacidad, se observa una gran cantidad de sólidos suspendidos, como tierra (Fig. 15).

**Tabla VII. Evaluación de campo de la planta de tratamiento (continuación)**

Etapa/Unidad	Observación
Secundario/primer Wetland	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de flujo sumergido vertical.</li> <li>- En una recámara el Tul esta “seco” (Fig. 17 y 18).</li> </ul>
Secundario/segundo Wetland	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de flujo sumergido vertical</li> <li>- El flujo llega a una recámara, las dos restantes tienen taponamiento.(Fig. 19).</li> <li>por lo que el Tul esta “seco” en estas recámaras.</li> </ul>
Secundario/tanque de oxidación	<p>Flujo en una de las tres tuberías que lo alimentan (Fig. 20).</p>
Todo el sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se cuenta con equipo y herramientas necesarias para realizar la limpieza.</li> <li>No se tiene un programa de rutinas de limpieza.</li> <li>Mal olor en toda la planta.</li> <li>Opera un promedio de tres horas al día.</li> </ul>

7. Disponibilidad de 37.5 %

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En las inspecciones de campo se observó que el funcionamiento actual de la planta no es constante, esto se debe principalmente a dos factores:

- No existe un operador designado que se dedique exclusivamente a la operación de la planta, la persona asignada actualmente a la operación de la planta (por la municipalidad) también tiene asignadas otras tareas como lo son, cobrar el pasaje de las lanchas que llegan al muelle y limpiar un tramo del camino que lleva del muelle hacia el área urbana.
- Los constantes taponamientos que se dan en las distintas recámaras de los pantanos artificiales y/o en las tuberías que conectan los mismos. Estos atoramientos son causados por la alta cantidad de sólidos suspendidos que no son retenidos en la etapa de pre-tratamiento ni por el tratamiento primario (porcentaje de remoción de 21.62%) y pasan al tratamiento secundario donde ocasionan bloqueos. Otra causa son las tuberías de purga de lodos de los sedimentadores ya que dos de ellas tienen un codo de 90°, lo que dificulta la purga de estos hacia el patio de secado y con esto la evacuación de los sólidos sedimentables fuera del sistema.

De los resultados obtenidos en los análisis se puede observar que la eficiencia de la planta es distinta para los distintos parámetros analizados. Se tiene que, para la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno los porcentajes de remoción calculados están dentro del promedio comparado con otras plantas de tratamiento el cual es de 70 % (Ref. 3). Para la relación DQO/DBO tenemos que es un desecho fácilmente biodegradable ya

que el resultado fue menor de 2, lo que nos indica que el desecho es fácil de tratar por medio de procesos biológicos (Ref. 2).

En cuanto a la remoción de sólidos sedimentables se tiene una eficiencia de 91% pero al analizar por etapas se tiene que toda la remoción de estos sólidos es hecha por el tratamiento secundario y no por el tratamiento primario lo que nos indica una clara deficiencia en esta etapa. En lo que respecta a la remoción de sólidos suspendidos estuvo por debajo del promedio el cual es 82.9 % (Ref. 3), si bien el promedio de remoción de la planta es de 72.97% solo el 21.82% son removidos en la etapa de pre-tratamiento y tratamiento primario, lo que sumado a los resultados de remoción de sólidos sedimentables confirma las deficiencias en estas etapas.

Para grasas y aceites se determinó un porcentaje de remoción de 14.29%. Esta baja eficiencia en la remoción de grasas y aceites se debe a que la trampa de grasa se encuentra al final del tratamiento primario y debe de estar ubicada en la etapa de pre-tratamiento (Ref. 5), para que las grasas y aceites que no logran ser removidos por la trampa, se queden en los sedimentadores.

También se encontró que la planta opera con deficiencias en lo que respecta a la remoción de nutrientes y si bien, todos los resultados obtenidos en el efluente cumplen con el “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos” incluso cumple con los límites proyectados al dos de mayo del dos mil veinticuatro, pero esto se debe, en lo que respecta a remoción de grasas y aceites así como nitrógeno y fósforo, principalmente a la baja carga de contaminantes que trae el afluente y no a una operación eficiente de la planta de tratamiento. Una de las causas podría ser que se han incrementado el número de hogares conectados al sistema sin

autorización municipal conectando también las aguas de patio y pilas. (Info. Alcalde Santa Cruz La Laguna).

Con base a los resultados obtenidos, se tiene que el tratamiento primario es el que opera con mayor deficiencia, y es acá donde se proponen la mayor cantidad de cambios que permitirán optimizar el funcionamiento de esta etapa y por consiguiente el funcionamiento de la planta.

En la etapa de tratamiento secundario se tiene una operación eficiente en lo que respecta a la remoción de DBO y DQO lo que indica una baja cantidad de materia orgánica, pero se tienen deficiencias en la remoción de nutrientes, los cuales aumentaron en el efluente y esto se debe a que al no tenerse una captación eficiente de las plantas (Tul), estos se depositan para ser posteriormente arrastrados por el flujo.

En cuanto a los valores de temperatura y potencial de hidrógeno determinados en los tres puntos de la planta son aptos para que los procesos químicos y biológicos se realicen con normalidad.

La propuesta de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento se puede observar en la sección de recomendaciones (Fig.7 y Fig. 8). Los cambios recomendados se basan en agregar una etapa intermedia entre el tratamiento primario y el secundario, esta etapa sería de digestión aeróbica, con esto se estarán reduciendo los tiempos de detención en el tratamiento primario de cinco días como mínimo, a un rango de 4 a 8 horas (Ref. 9). Esta digestión aeróbica se haría agregando aireadores, que aunque aumentaría el consumo eléctrico, permitirían homogenizar las aguas residuales, oxigenarlas para una exitosa oxidación de los nutrientes, eliminaría los malos olores ya que

no se liberan gases como metano y azufre, además de la ya mencionada reducción en el tiempo de retención. Para el tratamiento secundario se recomienda cambiar el lecho filtrante de las recámaras, el cual está desde el inicio de operación de la planta en el 2003 y ya muestra desgaste. También se recomienda para esta etapa disminuir la profundidad de los pantanos, con el fin de que el proceso sea completamente aeróbico para aumentar la oxidación de los nutrientes.

## CONCLUSIONES

1. La planta de tratamiento es eficiente para la remoción de DBO (69.64%), DQO (71.6%) y sólidos sedimentables (91%), e ineficiente para la remoción de nutrientes, grasas y aceites (14.29%).
2. La etapa de tratamiento primario opera con una eficiencia por debajo del promedio (81%) para los parámetros analizados, mientras que el tratamiento secundario es eficiente para la remoción de DBO (75%) y DQO (74.47%).
3. Los valores encontrados en la salida de la planta cumplen con el “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos” de la República de Guatemala, debido a la baja carga de nutrientes que ingresan a ésta y no a una operación eficiente de la misma.
4. La mayor deficiencia de la planta se encuentra en el tratamiento primario, como la ubicación de la trampa de grasa y las tuberías de purga de lodos entre otros, debido a esto las propuestas de mejoras se enfocan en esta etapa.



## RECOMENDACIONES

1. La propuesta consiste en:
  - a. Hacer otra caja unificadora de caudales (by-pass), para que siempre este operando una caja mientras la otra se encuentra en limpieza o mantenimiento.
  - b. En lugar de la rejilla para sólidos colocar una caja de rejas (canasta), esto con el fin de facilitarle la limpieza al operador.
  - c. En donde actualmente se tiene el desarenador se colocaría la trampa de grasas, para que ésta sea parte del pre-tratamiento.
  - d. En donde actualmente se encuentra el sedimentador 1 permanece sin cambios.
  - e. En el sedimentador 2 y 3 se colocarían los aireadores para la digestión aeróbica, por medio de un compresor de aproximadamente 5 psi por lo que se tendrían dos biodigestores. (Ref. 10).
  - f. Cambiar los codos de 90° de las tuberías de purga de lodos de los sedimentadores por codos de 45°.
  - g. En la trampa de grasa actual se colocaría un sedimentador. Para esto se debe aumentar en 0.30 m. la altura de la pared.
  - h. En los pantanos se debe de cambiar el relleno de grava, piedra y las plantas, ya que el que se tiene actualmente no se le ha dado mantenimiento y se encuentra desgastado.
  - i. Reducir la profundidad de los wetland a 0.6 m para que el proceso en estos sea completamente aeróbico.

Las figuras siete y ocho muestran los diagramas del tratamiento primario modificado.

2. Capacitar y concientizar al personal de limpieza de la planta acerca de los riesgos que existen en una planta de tratamiento entre los que se pueden mencionar:
  - Heridas corporales, resbalones o caídas.
  - Enfermedades contagiosas
  - Gases o vapores tóxicos, entre otros.

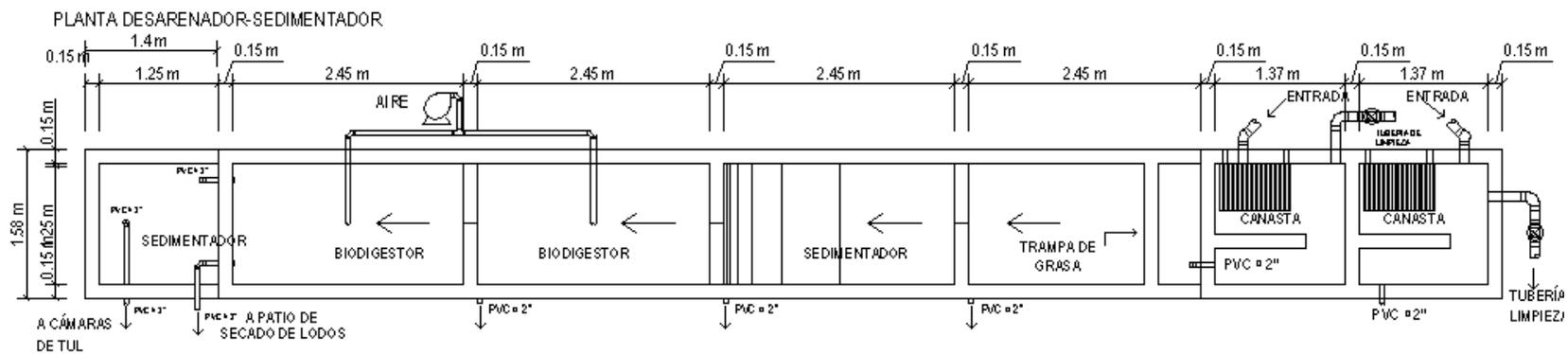
Para reducir estos riesgos es importante:

- Tener cercado el sitio y restringir el ingreso sólo a personal autorizado.
- Contar con vacunas, estar inmunizado como mínimo contra tifoidea y tétano.
- Lavarse las manos con jabón antes de comer o fumar, después de tomar muestras de las aguas residuales o al estar en contacto directo, con las aguas residuales.
- Comer o tomar cualquier alimento o bebida en áreas separadas del lugar de trabajo.
- Utilizar guantes protectores.
- Instalar una ducha para bañarse al terminar la jornada de trabajo.
- Brindarle todas las herramientas necesarias para realizar una adecuada limpieza al sistema.

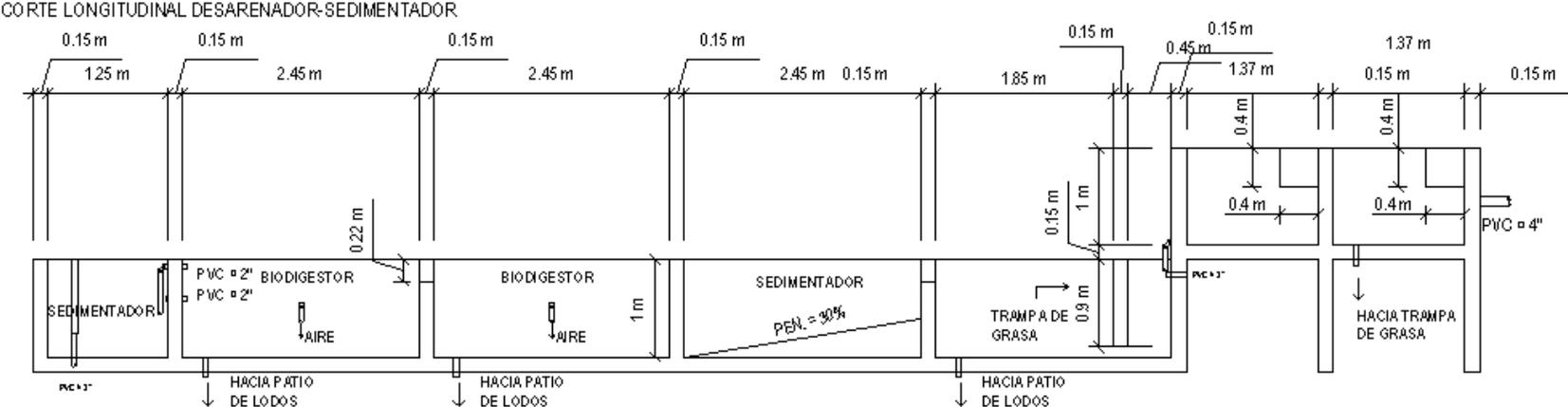
3. Crear un manual de operación y mantenimiento, no obstante el sistema de tratamiento está diseñado para trabajar con flujo continuo, se debe de describir la forma de realizar la limpieza tanto en operación como en mantenimiento.
4. Hacer un estudio de los hogares conectados a la planta, para asegurarse que sólo estén conectadas aguas residuales, actualmente la municipalidad tiene registradas 250 casas.
5. Realizar análisis de la calidad del agua dos veces por año como mínimo.



Figura 7. Diagrama tratamiento primario modificado. (Planta)



**Figura 8. Diagrama tratamiento primario modificado. (Elevación)**



## BIBLIOGRAFÍA

1. MACKENZIE L. Davis, MASTEN Susan. Ingeniería y Ciencias Ambientales México: McGraw-Hill Interamericana, 2005. Pág. 96 – 143.
2. CRITES, Ron. TCHOBANOGLIOUS, Gerorge. Sistemas de Manejo de Aguas Residuales Para Núcleos Pequeños y Descentralizados Tomos I y II Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana, 2000. Pág. 127 – 204.
3. QASIM, Syed R. Wastewater Treatment Plants. 2da Ed. Usa: CRC Press 2000
4. PUCCI, Beatrice. Depuración Natural de las Aguas. Italia. Agencia para la protección del medio ambiente de la Región Toscana.
5. Salazar, Doreen Brown. Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales. Guatemala: ProArca, 2004.

6. PERFIL AMBIENTAL DE GUATEMALA 2006 Tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental.
7. Castellanos, Edwin. et Al. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO ATITLÁN. UVG , 2002.
8. INFORME SOBRE DESARROLLO HUMANO 2006 Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Publicado por el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
9. CLESCERL, Lenore. Greenberg Arnold Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. American Public Health Association; 20th edition (January 1999)
10. [www.inguat.com.gt](http://www.inguat.com.gt) Septiembre 2008.
11. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS.
12. Corbet, Robert A. STANDARD HANDBOOK OF ENVIROMENTAL ENGINEERING. McGraw-Hill. 1990.

13. Perry, Robert(1992) MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO.  
(3ª.Edición) México, McGraw Hill.
  
14. US. EPA. 2004 A HANDBOOK OF CONSTRUCTED WETLANDS.  
Vol. 2.
  
15. Sánchez de León, SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMIENTO Y  
USO DE AGUAS RESIDUALES EN AMERICA LATINA: REALIDAD  
Y POTENCIAL. E.M 2001.
  
16. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago y su  
Entorno (AMSCLAE) PROGRAMA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL,  
MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE SANTA  
CRUZ LA LAGUNA. (2005).



## ANEXOS

**Tabla VIII. Resultados análisis de la planta de tratamiento**

Análisis	Dimensional*	Límite de detección	Entrada	Salida tratamiento primario	Salida Planta
pH (in-situ)	---	0.01	6.93	6.85	6.42
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	20.9	22.5	20.2
Demanda química de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	338	376	96
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	168	204	51
Relación DQO/DBO	---	---	2.0	1.8	1.9
Sólidos sedimentables	ml/l	0.1	1.0	1.0	< 0.1
Sólidos suspendidos	mg/l	10	148	116	40
Aceites y grasas	mg/l	5	7	10	6
Materia flotante	---	Ausente/Presente	Ausente	Presente	Ausente
Fósforo total	mg/l - P	0.05	1.31	0.37	1.52
Nitrógeno total	mg/l - N	0.5	10.5	11.3	16.8
Color	u Pt-Co	0.50	172	167	125

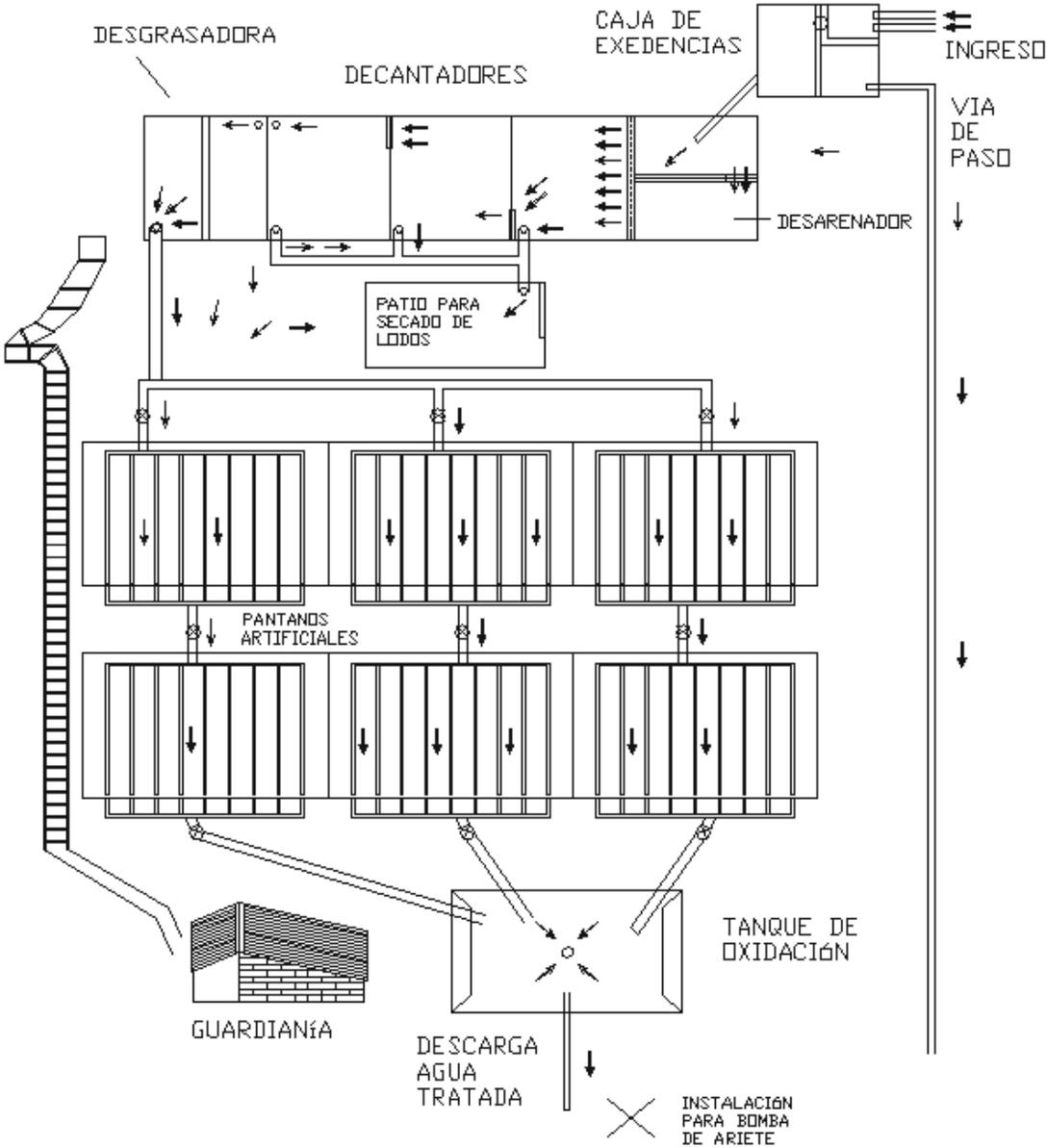
Fuente: Lab. ECOQUIMSA.

**Tabla IX. Parámetros Químicos y Bacteriológicos del agua en diferentes puntos del Lago de Atitlán.**

<i>Municipalidad</i>	<i>Total Coliformes (NMP/100ml.)</i>	<i>E. Coli. (NMP/100ml)</i>	<i>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/L)</i>	<i>NO<sub>3</sub> (mg/L)</i>	<i>Turbiedad (NTU)</i>	<i>O<sub>2</sub> Disuelto (PPM)</i>
<i>Sta. Catarina Palopó</i>	873	619	0.098		7.17	7.7
<i>Panajachel</i>	635	985	0.109	8.0	5.5	7.2
<i>Río Qiscab</i>	238	7	0.149	5.7	6.3	7.9
<i>Sta. Cruz La Laguna</i>	13	1	0.147	5.9	8.9	6.9
<i>San Pablo La Laguna</i>	588	19	0.150	2.6	8.1	7.2
<i>San Juan La Laguna</i>	516	2	0.107	3.6	8.1	7.4
<i>San Pedro La Laguna</i>	584	2	0.117	4.8	7.75	7.5
<i>Santiago Atitlán</i>	816	7	0.259	4.1	7.2	7.4
<i>San Lucas Toliman</i>	620	300	0.088	0.088	7.8	7.4
<i>Río Panajachel</i>	-	-	3.085	5.4	-	8.1
<i>San Antonio Palopó</i>	-	-	0.560	0.560	9.23	7.3

Fuente: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Asociación Vivamos Mejor, Universidad del Valle de Guatemala, 2002. Calidad del agua del Lago Atitlán, Guatemala)

Figura 9. Diagrama planta de tratamiento



Fuente: AMSCLAE



Figura 10. Diagrama tratamiento primario. (Planta)

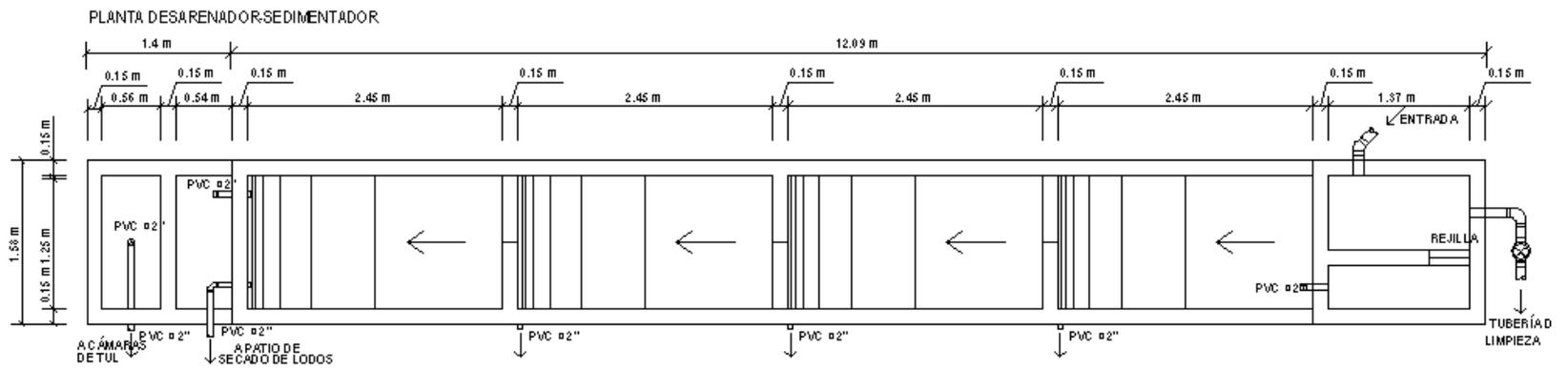
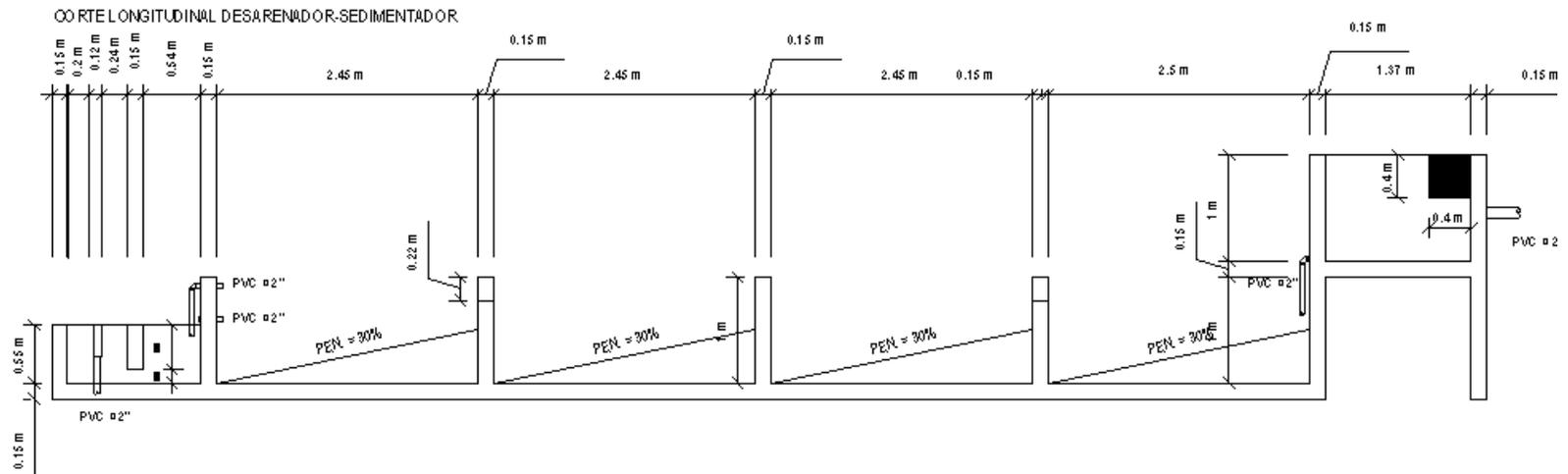


Figura 11. Diagrama tratamiento primario. (Elevación)



**Figura 12. Fotografía de caja de excedencias.**

Vía de paso (Hacia Lago)



Figura 13. Fotografía trampa de sólidos y desarenador.



Figura 14. Sedimentadores



**Figura 15. Fotografía Trampa de Grasa**



**Figura 16. Fotografía Tubería de salida de sedimentadores hacia patio de secado de lodos.**



**Figura 17. Fotografía pantanos artificiales. (Primer Wetland)**



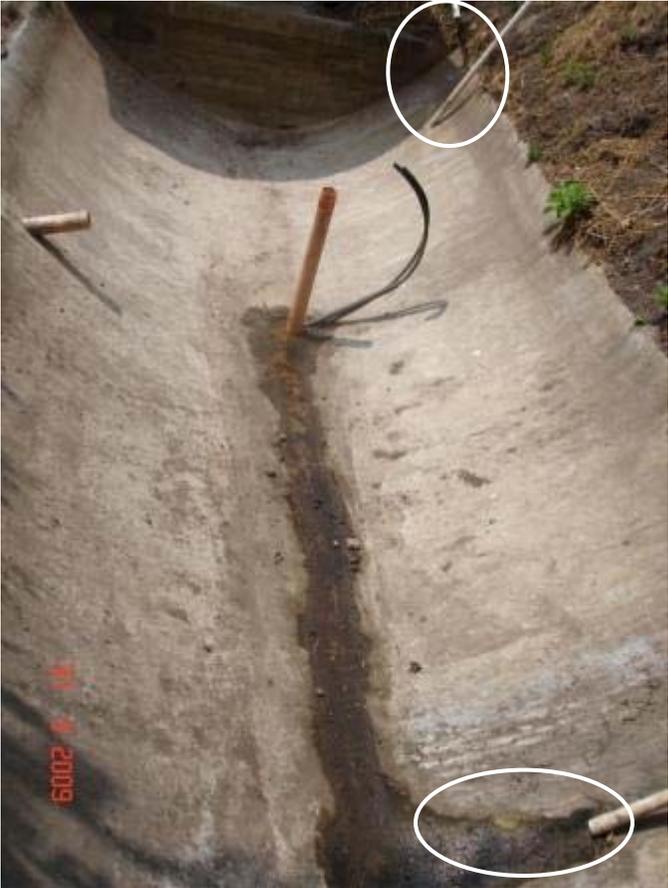
**Figura 18. Fotografía recámara con Tul seco (primer wetland)**



Figura 19. Fotografía segundo wetland.



Figura 20. Fotografía tanque de oxidación



## DATOS ORIGINALES

## INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

### Datos del cliente:

Cliente: Cementos Progreso  
Responsable: Ing. Oscar Pérez  
Dirección: Sanarate, El Progreso

### Datos de la muestra:

Lugar de muestreo: Planta Santa Cruz      Hora de monitoreo: 10:35  
Referencia cliente: Entrada a planta de tratamiento      Responsable del muestreo: ECOQUIMSA  
Fecha de monitoreo: 16 de abril del 2007      Temperatura de almacenaje: 5°C  
Tipo de muestra: Agua residual de tipo especial      Recipiente utilizado: Plástico  
Lote: 2040  
Código: GD5541

### Datos de laboratorio:

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 17 de abril del 2007  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 8:30  
Fecha de informe: 30 de abril del 2007

Análisis	Dimensional*	Límite de detección	Resultados
pH (in-situ)	---	0.01	6.93
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	20.9
Demanda química de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	338
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	168
Relación DQO/DBO	---	---	2.0
Sólidos sedimentables	ml/l	0.1	1.0
Sólidos suspendidos	mg/l	10	148
Aceites y grasas	mg/l	5	7
Materia flotante	---	Ausente/Presente	Ausente
Fósforo total	mg/l - P	0.05	1.31
Nitrógeno total	mg/l - N	0.5	10.5
Color	u Pt-Co	0.50	172

\* mg/l = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto

Nota: Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998.

\*\* Químico Biólogo responsable, Licda. Anjeanette Herring, colegiada No. 1707

  
 Laboratorio ECOQUIMSA  
 Lic. CARLOS RODOLFO SIRON CORZO  
 QUÍMICO FARMACÉUTICO  
 COLEGIADO No. 2265

## INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

### Datos del cliente:

Cliente: Cementos Progreso  
Responsable: Ing. Oscar Pérez  
Dirección: Sanarate, El Progreso

### Datos de la muestra:

Lugar de muestreo: Planta Santa Cruz      Hora de monitoreo: 11:35  
Referencia cliente: Salida tratamiento primario      Responsable del muestreo: ECOQUIMSA  
Fecha de monitoreo: 16 de abril del 2007      Temperatura de almacenaje: 5°C  
Tipo de muestra: Agua residual de tipo especial      Recipiente utilizado: Plástico  
Lote: 2040  
Código: GD5543

### Datos de laboratorio:

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 17 de abril del 2007  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 8:30  
Fecha de informe: 30 de abril del 2007

Análisis	Dimensional*	Límite de detección	Resultados
pH (in-situ)	---	0.01	6.85
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	22.5
Demanda química de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	376
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	204
Relación DQO/DBO	---	---	1.8
Sólidos sedimentables	ml/l	0.1	1.0
Sólidos suspendidos	mg/l	10	116
Aceites y grasas	mg/l	5	10
Materia flotante	---	Ausente/Presente	Presente
Fósforo total	mg/l - P	0.05	0.37
Nitrógeno total	mg/l - N	0.5	11.3
Color	u Pt-Co	0.50	167

\* mg/l = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto

Nota: Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998.

\*\* Químico Biólogo responsable, Licda. Anjeanette Herring, colegiada No. 1707

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Lic. CARLOS RODOLFO DIXON CORZO  
QUÍMICO FARMACEUTICO  
COLEGIADO No. 2265

## INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

### Datos del cliente:

Cliente: Cementos Progreso  
Responsable: Ing. Oscar Pérez  
Dirección: Sanarate, El Progreso

### Datos de la muestra:

Lugar de muestreo: Planta Santa Cruz      Hora de monitoreo: 11:25  
Referencia cliente: Salida a laguna de pantanos      Responsable del muestreo: ECOQUIMSA  
Fecha de monitoreo: 16 de abril del 2007      Temperatura de almacenaje: 5°C  
Tipo de muestra: Agua residual de tipo especial      Recipiente utilizado: Plástico  
Lote: 2040  
Código: GD5542

### Datos de laboratorio:

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 17 de abril del 2007  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 8:30  
Fecha de informe: 30 de abril del 2007

Análisis	Dimensional*	Límite de detección	Resultados
pH (in-situ)	---	0.01	6.42
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	20.2
Demanda química de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	96
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l - O <sub>2</sub>	10	51
Relación DQO/DBO	---	---	1.9
Sólidos sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1
Sólidos suspendidos	mg/l	10	40
Aceites y grasas	mg/l	5	6
Materia flotante	---	Ausente/Presente	Ausente
Fósforo total	mg/l - P	0.05	1.52
Nitrógeno total	mg/l - N	0.5	16.8
Color	u Pt-Co	0.50	125

\* mg/l = ppm, u Pt-Co = unidades platino cobalto

Nota: Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998.

\*\* Químico Biólogo responsable, Licda. Anjeanette Herring, colegiada No. 1707

  
LABORATORIO ECOQUIMSA  
QUÍMICO FARMACÉUTICO  
COLEGIADO No. 2265