

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL



EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR, CAMPUS CENTRAL  
TESIS DE GRADO

**HERBERTH RENE LAVAGNINO LETONA**  
CARNET 12203-08

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, ENERO DE 2016  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR, CAMPUS CENTRAL  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**HERBERTH RENE LAVAGNINO LETONA**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, ENERO DE 2016  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

ING. PAMELA ANDREA ELIZABETH CAMARERO BARREDA DE QUIÑONEZ

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. HAYRO OSWALDO GARCÍA GARCÍA

MGTR. MARÍA DEL PILAR NEGREROS PRATDESABA DE OQUENDO

LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

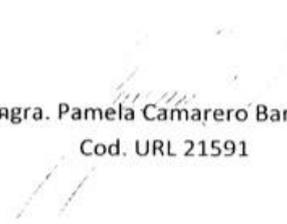
Guatemala 26 de Octubre de 2015

A quien corresponda  
Consejo de Facultad Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Universidad Rafael Landívar  
Campus Central

Presente Estimados miembros del Consejo

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante HERBERTH RENE LAVAGNINO LETONA con numero de carné 1220308, titulada: **"EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE CONTAMINANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, CAMPUS CENTRAL."** La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,

  
Ingra. Pamela Camarero Barreda  
Cod. URL 21591



Universidad  
Rafael Landívar  
Tradicón Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06414-2015

**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante HERBERTH RENE LAVAGNINO LETONA, Carnet 12203-08 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06155-2015 de fecha 7 de diciembre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR, CAMPUS CENTRAL

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 6 días del mes de enero del año 2016.

  
ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1. Calidad del agua, aguas residuales y sus características	14
2.1.1 Uso del agua	14
2.1.2 Calidad del agua	15
2.1.3 Aguas Residuales	17
2.2 Características del agua	18
2.2.1 Características físicas	18
2.2.2 Características químicas	19
2.2.3 Características biológicas	19
2.3 Tratamiento del agua residual	20
2.3.1 Pre-tratamiento	20
2.3.2 Tratamiento Primario	21
2.3.3 Tratamiento Secundario	21
2.3.4 Tratamiento de lodos	21
2.4 Planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Rafael Landívar	23
2.4.1 Uso de la planta de tratamiento	23
2.4.2 Descripción de las instalaciones	25
<b>III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>33</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b>	<b>34</b>
4.1 Objetivo General	34
4.2 Objetivo Específico	34
<b>V. METODOLOGÍA</b>	<b>35</b>
5.1 Localización	35
5.2 Material experimental	35
5.3 Unidad experimental	36
5.4 Procedimiento	36
5.5.1 Toma de muestras	36
5.5.2 Pruebas de laboratorio	37
5.5.3 Puntos de muestreo	38
5.4.4 Análisis de la información	38
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES</b>	<b>51</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>53</b>
<b>X. ANEXOS</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Composición típica de las aguas residuales domésticas. . . . .	14
Figura 2.- Distribución de la PTAR de la URL, CC. . . . .	22
Figura 3.- Canal de Demasías de la PTAR de la URL, CC . . . . .	23
Figura 4.- Canal de Rejas y Desarenador de la PTAR de la URL, CC. . . . .	24
Figura 5.- Trampa de Grasa de la PTAR de la URL, CC. . . . .	24
Figura 6.- Sedimentador Primario de la PTAR de la URL, CC . . . . .	25
Figura 7.- Filtros Percoladores de la PTAR de la URL, CC. . . . .	25
Figura 8.- Sedimentador Secundario de la PTAR de la URL, CC. . . . .	26
Figura 9.- Hipoclorador de la PTAR de la URL, CC. . . . .	27
Figura 10.- Digestor de Lodos de la PTAR de la URL, CC. . . . .	27
Figura 11.- Patio de Secado de Lodos de la PTAR de la URL, CC . . . . .	28
Figura 12.- Ubicación de la PTAR de la URL, CC . . . . .	31
Figura 13.- Esquema de planta . . . . .	32
Figura 14.- Resultado del Análisis de Demanda Química de Oxígeno del muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Estiaje 2012.. . . . .	36
Figura 15.- Resultados del Análisis de Demanda Biológica de Oxígeno del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Estiaje 2012. . . . .	37
Figura 16.- Resultados del Análisis de Sólidos Sedimentables del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Época de Estiaje 2012.. . . . .	38
Figura 17.- Resultados del Análisis de Nitrógeno Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Época de Estiaje 2012.. . . . .	39
Figura 18.- Resultados del Análisis de Fósforo Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Época de Estiaje 2012. . . . .	40
Figura 19.- Resultados del Análisis de Demanda Química de Oxígeno del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012. . . . .	41

Figura 20.- Resultados del Análisis de Demanda Biológica de Oxígeno del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012. . . . .	42
Figura 21.- Resultados del Análisis de Sólidos Sedimentables del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012. . . . .	43
Figura 22.- Resultados del Análisis de Nitrógeno Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012.. . . .	44
Figura 23.- Resultados del Análisis de Fósforo Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012. . . . .	44

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro1.- Parámetros o Características que se Miden para Determinar la Calidad del Agua Contaminada. . . . .	12
Cuadro 2.- Demanda química de oxígeno (DQO) en época de estiaje (seca). .	52
Cuadro 3.- Demanda química de oxígeno (DQO) en época de invierno. . . . .	52
Cuadro 4.- Porcentaje de remoción de DQO en época de estiaje (seca)...	52
Cuadro 5.- Porcentaje de remoción de DQO en época de invierno.. . . .	52
Cuadro 6.- Demanda biológica de oxígeno (DBO) en época de estiaje (seca). . .	53
Cuadro 7.- Demanda biológica de oxígeno (DBO) en época de invierno. . . . .	53
Cuadro 8.- Porcentaje de remoción de DBO en época de estiaje (seca)...	53
Cuadro 9.- Porcentaje de remoción de DBO en época de invierno. . . . .	53
Cuadro 10.- Nitrógeno Total en época de estiaje (seca). . . . .	54
Cuadro 11.- Nitrógeno Total en época de invierno. . . . .	54
Cuadro 12.- Porcentaje de remoción de nitrógeno total en época de estiaje (seca)	54
Cuadro 13.- Porcentaje de remoción de nitrógeno total en época de invierno. . .	54
Cuadro 14.- Fosforo Total en época de estiaje (seca). . . . .	55
Cuadro 15.- Fosforo Total en época de invierno.. . . .	55
Cuadro 16.- Porcentaje de remoción de fósforo total en época de estiaje. . . . .	55
Cuadro 17.- Porcentaje de remoción de fósforo total en época de invierno. . . . .	55
Cuadro 18.- Sólidos sedimentables en época de estiaje (seca).. . . . .	56

Cuadro 19.- Sólidos sedimentables en época de invierno. . . . . 56

Cuadro 20.- Porcentaje de remoción de SS en época de estiaje (seca) 56

Cuadro 21.- Porcentaje de remoción de SS en época de invierno. 56

# **Eficiencia en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central**

## **RESUMEN**

Se realizó una evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales en el campus central de la Universidad Rafael Landívar. Se tomaron muestras de agua en cada fase del sistema para analizar los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno –DQO-, Demanda Biológica De Oxígeno –DBO-, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Sólidos Sedimentables- SS-, comparando época de estiaje y la lluviosa. De esta forma se pudo determinar el porcentaje de remoción de contaminantes en cada fase del sistema, hasta su descarga final al Río Contreras. Se determinó que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta, logra una remoción del 60% de los parámetros sanitarios de calidad de DBO, DQO y SS, tiene un desempeño intermedio, y reduce en un término intermedio, la carga contaminante del cuerpo receptor llamado Río Contreras. Con respecto a las variables de nitrógeno total y fósforo total es considerablemente baja la remoción de estos dos parámetros, por lo que las aguas que se liberan al río tienen una carga alta en nutrientes, pudiendo colaborar en la eutrofización de este sistema de agua. Se recomienda que se continúe de una manera permanente con los análisis de agua y que se monitoree y brinde las capacitaciones correspondientes al personal responsable de la limpieza del sistema, para mejorar su eficiencia. Se debe tomar en cuenta las variaciones de caudal en las diferentes épocas del año, puesto que es una planta al aire libre.

# **Efficiency of the pollutant removal of the sewage water treatment plant of the Rafael Landivar University, Central Campus**

## **Summary**

A testing of the efficiency of the pollutant removal of the sewage water treatment plant of the Rafael Landivar University, Central Campus, was developed. Water samples were taken per each phase of the system in order to analyze the following parameters: oxygen chemical demand (OCD), oxygen biochemical demand (OBD), suspended solids (SS), total nitrogen, total phosphorus and solid sediments; comparing the winter and summer seasons to determine the percentage of the removal in each phase of the system, until its discharge in the Contreras river. It was determined that the treatment system of the sewage water plant remove a 60% of the parameters of OBD, OCD and SS. According to the variables of the total nitrogen and total phosphorus, the efficiency of the removal are very low; therefore, the water discharged into the river has a high charge of nutrients thus contributing to the eutrophication of this water system. It is recommended to continue with a constant water analysis and to monitor and train the workers responsible of the system maintenance to improve its efficiency. It is convenient to consider the flow variants during the different seasons since it is an open plant.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes para la sociedad ya que se utiliza en la mayoría de las tareas de la vida cotidiana. Además, es un recurso indispensable para el desarrollo de actividades importantes, como la agricultura e industria, que ayudan al desenvolvimiento de una determinada población.

La necesidad de usar los sistemas de tratamiento de agua residual en Guatemala es obligatoria y se define a través de un reglamento a nivel municipal para evitar la carga de contaminantes de una forma directa hacia los cuerpos de agua receptores dentro de las cuencas a nivel nacional.

La Universidad Rafael Landívar, Campus Central, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, (pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario), cuyo objetivo es lograr una reducción de DBO, DQO, Sólidos Sedimentables, Nitrógeno Total, Fósforo Total, etc., para que estas aguas domésticas lleguen al Río Contreras con una disminución cuantitativa considerable de contaminantes hacia el cuerpo receptor anteriormente mencionado.

El presente estudio evalúa la situación y el estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, mediante la toma de muestras para los análisis físicos, químicos y biológicos. Estos se analizan, interpretan y serán divulgados tanto al personal administrativo de la Universidad como a los catedráticos, población estudiantil y otros entes interesados en la temática e incluirá la eficiencia de las actividades de la planta y el aporte que la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, hace en la conservación de los cuerpos de agua aledaños. Es necesario hacer conciencia sobre la contaminación de los cuerpos de agua por la situación actual de las descargas de aguas residuales que se presenta en la mayor parte de las zonas urbanas.

## II. MARCO TEÓRICO

La construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Central de la Universidad Rafael Landívar fue un paso importante para consolidar el campus como uno de características sustentables (Universidad Rafael Landívar, 2009).

El concepto de desarrollo sustentable establece que es un tipo de desarrollo en el que los factores económicos, sociales y ambientales pueden interactuar de manera que no se perjudiquen entre ellos. Es decir, fomenta el desarrollo humano de manera que no exista una sobrecarga de la capacidad de la Tierra. Dentro de esta concepción de desarrollo, se establece que la actual generación se ve obligada a dejarle un mejor lugar a las generaciones futuras. Al integrar el desarrollo sustentable a las actividades de un campus universitario, se obtiene el llamado campus sustentable. Un campus sustentable busca minimizar los impactos, que sus instalaciones y actividades tienen sobre la sociedad y el ambiente, sin que esto represente una amenaza económica (Universidad Rafael Landívar, 2009).

Para lograr tener un campus sustentable deben de involucrarse tanto los estudiantes, como el personal administrativo y los catedráticos. También deben de incluirse cursos sobre desarrollo sostenible, enfocados a las diferentes carreras, dentro de los pensum (SIC) de estudio. Es aquí donde la labor del departamento de responsabilidad social universitaria cobra gran valor. Como parte de los programas de responsabilidad social universitaria se tienen los objetivos de fomentar la proyección social en la vida de las personas involucradas en la universidad (Universidad Rafael Landívar, 2009).

Esto es muy importante para lograr que el campus universitario se transforme en un campus sustentable. Al igual que se promueve la proyección social, se debe de promover el cuidado del medio ambiente. Si se logran inculcar fuertemente estos dos valores, los profesionales egresados de la universidad serán personas siempre en busca del establecimiento de una sociedad que busque el desarrollo mediante el desarrollo sostenible (Universidad Rafael Landívar, 2009).

La planta de tratamiento de aguas residuales cubre los tres pilares de la sostenibilidad.

Con el tratamiento de las aguas residuales se: (a) reduciría el riesgo de contraer enfermedades de las personas cercanas al río donde se vierten las aguas residuales; (b) cuidaría el medio ambiente, ya que no se seguiría descargando aguas contaminadas al río; y, en un futuro, (c) podría rescatar el río (Universidad Rafael Landívar, 2009).

## **2.1. Calidad del agua, aguas residuales y sus características**

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y una de oxígeno. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. Generalmente, el término “agua” se refiere a la sustancia en estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida, llamada hielo; y, en forma gaseosa, denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes (World Water, 2006)

### **2.1.1 Uso del agua**

Dependiendo de la complejidad de la actividad urbana y de las fuentes de abastecimiento disponibles, las cuales pueden ser de origen subterráneo o de origen superficial, en general, el agua se introduce a un sistema de abastecimiento de agua potable que consiste en: obras de captación, un proceso de potabilización, tubería de conducción, tanques de almacenamiento y tubería para la red de distribución. También el sistema de agua potable puede ser alimentado por medio de un pozo, en el cual la mejor forma de extraer el agua es mediante una bomba (Kestler, 2004).

Por lo tanto, el agua está lista para ser consumida en los hogares, comercio e industria, para luego ser canalizada mediante un sistema de drenaje por medio de una conexión domiciliar y con ello realizar un tratamiento del agua residual previa a ser descargado al cuerpo receptor (suelo, río, lago, etc.), o por aplicación directa al suelo (Kestler, 2004).

## 2.1.2 Calidad del agua

El agua es un componente muy importante en la vida del planeta Tierra.

La calidad del agua es la expresión de un conjunto de características de un bien o servicio para enfrentar la satisfacción de un usuario, comprador o consumidor para el bien común de la humanidad. Esta se puede medir a través de las características físicas, químicas y biológicas (Camarero, 2009).

Para determinar las necesidades de tratamiento y la correcta tecnología de tratamiento, se deben identificar los parámetros para ser medidos de acuerdo al uso que se le haya dado al agua, como se indica en el Cuadro 1.

### Cuadro 1. Parámetros o Características que se Miden para Determinar la Calidad del Agua Contaminada

Parámetros	Medido en:
<b>Propiedades físicas - Color</b>	Residuos domésticos e industriales, descomposición de Materiales orgánicos.
·Olor	Aguas residuales en descomposición, residuos industriales.
·Sólidos	Abastecimiento de agua, residuos domésticos e industriales, erosión de suelos, infiltración de aguas subterráneas, residuos mineros
·Temperatura	Residuos domésticos e industriales y mineros. Centrales.
<b>Componentes químicos</b>	
<b>Orgánicos</b>	
·Carbohidratos	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·Grasas animales, aceites, grasas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·Pesticidas	Residuos agrícolas
·Fenoles	Residuos industriales
·Proteínas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·Contaminantes principales	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·Detergentes	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·Compuestos orgánicos volátiles	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·Otros	Descomposición natural de materiales orgánicos.
<b>Inorgánicos</b>	
·Alcalinidad	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de Aguas subterráneas. Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de
·Cloruros	aguas subterráneas
·Metales pesados	Residuos industriales
·Nitrógeno	Residuos domésticos y agrícolas
·Acidez	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales

<ul style="list-style-type: none"> <li>·Fósforo</li> <li>·Azufre</li> </ul>	<p>Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales Residuos domésticos, abastecimiento de agua, actividades Comerciales e industriales.</p>
<b>Gases</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>·Sulfuro de hidrógeno</li> <li>·Metano</li> <li>·Oxígeno</li> </ul>	<p>Descomposición de residuos domésticos. Descomposición de residuos domésticos. Abastecimiento de agua, actividades comerciales e industriales.</p>
<b>Constituyentes biológicos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>·Animales</li> <li>·Plantas</li> <li>·Bacterias</li> </ul>	<p>Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento. Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento Residuos domésticos, infiltración de aguas superficiales, Plantas de tratamiento.</p>

(Camarero, 2009)

La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden eliminar por medio de deposición. Pueden identificarse con características visibles del agua como turbiedad, claridad, gusto, color y olor (Camarero, 2009).

Los Sólidos Totales (ST) son la suma de todos los sólidos disueltos y suspendidos en el agua. Cuando el agua se analiza para determinar los ST, la muestra se seca y el residuo se pesa. Los ST pueden ser tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas, microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla (Camarero, 2009).

La turbiedad se puede medir con varias técnicas, una puede ser el turbidímetro y también el uso del espectrofotómetro. El sabor se mide en concentraciones de partes por millón (PPM) y por medio del gusto se puede indicar si el agua es rechazable o no. El color es una característica que se determina a través de la comparación de diferentes muestras visuales o con un espectrómetro. La detección del olor en el agua puede ser útil, ya que puede identificar si hay descomposición y que los gases están siendo transformados en sustancias menos tóxicas para el ambiente. (Camarero, 2009).

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando la concentración de iones de hidrógeno presentes. Se mide en una escala de 0 a 14, en donde el 7 indica que la sustancia es neutra. Los valores del

pH por debajo de 7 indican que la sustancia es ácida y por encima de 7 indican que es básica (Camarero, 2009).

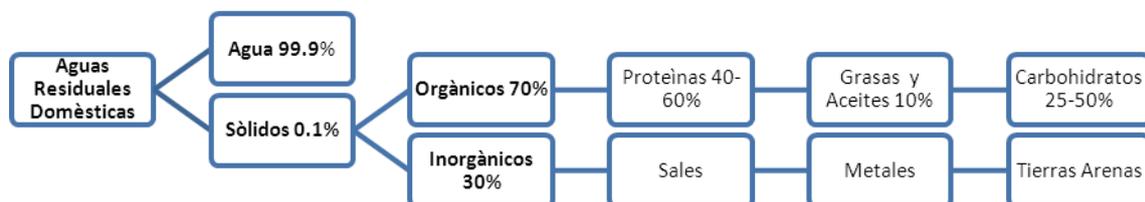
La conductividad es la conducción de la energía por los iones. La medida de la conductividad indica la concentración de iones en el agua, pues el agua es resistente a la conducción de la energía. La conducción se expresa en Siemens y se mide con un conductímetro (Camarero, 2009).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales. Esta determina la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de 5 días, a 20 grados centígrados. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la medida del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales que determina la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación química (Camarero, 2009).

### **2.1.3 Aguas Residuales**

El Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006, define que las aguas residuales son todas aquéllas que han sido utilizadas para diferentes usos en las que se han modificado sus características iniciales. También se definen como las consecuencias de las actividades cotidianas a nivel doméstico, urbano e industrial. Dentro de esta categoría se incluye a las aguas pluviales. Por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no se pueden desechar o verterlas sin ningún tratamiento previo a su descarga (Camarero, 2009).

Las Aguas Residuales Domésticas (ARD) están compuestas generalmente por: 99.9% de agua y el 0.1% son sólidos. De este porcentaje el 70% son sólidos orgánicos y el 30% son inorgánicos (figura 1) (Camarero, 2009).



**Figura 1.** Composición Típica de las Aguas Residuales ordinarias (Camarero, 2009).

Según el Reglamento 236-2006, las Aguas Residuales se dividen en Especiales y Ordinarias. Las aguas tipo ordinario son aquéllas generadas por las actividades cotidianas de la población, como uso doméstico: lavar ropa, uso sanitario, saneamiento en la vivienda, lavatrastos, entre otros. (Camarero, 2009).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en Guatemala, el consumo diario de agua potable es de 150 l/habitante/día, pero este dato puede variar dependiendo del lugar donde se vive y los patrones de consumo; además, de las condiciones de vida de la población (Camarero, 2009).

## 2.2 Características del agua

### 2.2.1 Características físicas

Algunos contaminantes físicos incluyen cambios térmicos, el color, olor y turbiedad, espumas y radioactividad. La temperatura puede indicar los antecedentes de las aguas negras, su efecto en actividades biológicas, solubilidad de los gases y el efecto de la viscosidad en la sedimentación. El color de las aguas usualmente es

gris, otros colores pueden indicar la presencia de desechos industriales (Duarte, 2002).

El olor de las aguas negras puede indicar que están alteradas o que son sépticas. La turbiedad es una característica física, que rara vez se indica. La concentración se determina en base al olor, la DBO y el contenido de sólidos, e indica el grado de daños que puede causar esta agua (Duarte, 2002).

Los parámetros más usados para medir la contaminación por productos físicos, son la concentración de sólidos en suspensión y la concentración de sólidos disueltos (Duarte, 2002).

### **2.2.2 Características químicas**

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. La principal consecuencia de la presencia de químicos orgánicos es la disminución de oxígeno como resultado del consumo del oxígeno existente en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos (Duarte, 2002).

Esta disminución de Oxígeno Disuelto (OD) altera el medio ambiente y la biodiversidad. El parámetro más importante para la medición de la contaminación por productos químicos es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación, por acción bioquímica aeróbica, de las sustancias biodegradables presentes en una muestra de agua. La DBO y la OD están relacionadas de tal forma que la concentración de oxígeno disuelto es baja donde la DBO es alta. En el caso de la contaminación, debido a la presencia de compuestos inorgánicos, el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que la disminución de oxígeno (Duarte, 2002).

### **2.2.3 Características biológicas**

Los contaminantes biológicos comprenden los microorganismos que pueden ser responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas, o que bien pueden ser inofensivos o incluso, hasta útiles. Los más pequeños son los virus y; luego, le

siguen las bacterias. Los análisis de las aguas residuales para el estudio de la vida biológica comprenden exámenes bacteriológicos y microscópicos (Duarte, 2002).

Las enfermedades más dañinas transmitidas por las aguas residuales son el cólera y la tifoidea. La presencia de microorganismos vivos es importante porque muchos métodos de tratamiento se basan en el efecto de la acción biológica. Para las pruebas bacteriológicas solamente pueden utilizarse muestras instantáneas. Todas las muestras deben examinarse lo más pronto posible después de haberse recolectado (Duarte, 2002).

## **2.3 Tratamiento del agua residual**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son instalaciones que, mediante procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos, mejoran la calidad del agua al reducir contaminantes físicos, químicos y microbiológicos de las aguas resultantes del uso doméstico. Independientemente del tipo de instalaciones, el objetivo de una planta de tratamiento de agua residual es mejorar la calidad del agua para que su descarga no dañe al medio ambiente ni la salud de las personas que puedan tener contacto con ella o pueda ser reutilizada (Recinos, 2010).

Se componen de varias etapas, siendo la primera el pre-tratamiento, luego el tratamiento primario, seguido del tratamiento secundario, tratamiento terciario y de lodos (Recinos, 2010).

### **2.3.1 Pre-tratamiento**

Elimina únicamente parámetros físicos. Elimina del agua toda la basura, arenas o grasas y aceites que impidan o reduzcan la eficiencia de los siguientes procesos, o que provoquen problemas de mantenimiento, funcionamiento u operaciones. Está compuesto por canales de rejillas que eviten el paso de sólidos mayores a 1 pulgada, un desarenador para evitar taponamientos, desgaste de tuberías y disminución de eficiencia; y, por último, una trampa de grasa, porque la grasa no es degradable

mediante los procesos de tratamiento; además, que puede obstruir tuberías y reducir la eficiencia de la planta (Recinos, 2010).

### **2.3.2 Tratamiento Primario**

Elimina parámetros fisicoquímicos mediante la sedimentación de la mayor cantidad de sólidos en suspensión posible, para que únicamente circule al resto de la planta una mezcla mayormente líquida y homogénea (Recinos, 2010).

Los sólidos se sedimentan en el fondo y se convierten en lodos que luego deben ser descargados a otra unidad de tratamiento. En esta etapa los lodos sedimentados podrían empezar un proceso de digestión dependiendo del tiempo que permanezcan dentro del sedimentador (Recinos, 2010).

### **2.3.3 Tratamiento Secundario**

Elimina parámetros fisicoquímicos y compuestos orgánicos mediante procesos biológicos. Estos procesos utilizan bacterias aerobias o anaerobias para descomponer a los contaminantes orgánicos. En algunos casos se incluye una unidad específica que elimine nutrientes como fósforo y nitrógeno (Recinos, 2010).

Al final del proceso se pasa a un sedimentador para que se sedimenten los lodos activados y se puedan tratar, secar y; finalmente, desechar o reutilizar. En general, el tratamiento secundario busca digerir los sólidos no sedimentables para que puedan ser eliminados en el sedimentador secundario (Recinos, 2010).

### **2.3.4 Tratamiento de lodos**

Es el tratamiento que estabiliza los lodos antes de disponer de ellos o reutilizarlos. Su tratamiento está en función del mismo uso que se planea darle o el lugar de disposición, siendo el olor, consistencia putrefacta y contenido patógeno los parámetros a tratar. El tratamiento puede ser aerobio o anaerobio siendo el anaerobio el más utilizado porque la operación es sencilla y de bajo costo, y

funcionan muy bien con cualquier cantidad de lodo a tratar; sin embargo, como cualquier proceso anaerobio, tiene una alta producción de malos olores (Recinos, 2010).

La temperatura y el tiempo de retención son los factores más importantes a considerar en su diseño. También se acostumbra agregar cal para elevar el pH y matar a microorganismos presentes en el lodo que a su vez estabiliza la materia orgánica. El tratamiento anaerobio tiene como ventajas reducir el tiempo de retención, bajos costos operativos y de mantenimiento, alta reducción de sólidos volátiles y simplicidad del proceso. Como desventajas, el aumento de masa a deshidratar y disponer, en caso de agregar cal, elevación del pH que podría no ser beneficiosa para suelos agrícolas. Finalmente, se procede con la deshidratación del lodo estabilizado, que comúnmente se hace en patios de secado. Los lodos secos pueden enterrarse o reutilizarse como fertilizante o base para fertilizantes en bosques o jardines sin contacto público y que se encuentren a más de diez metros de un cuerpo de agua. La deshidratación facilita el transporte, la manipulación y; sobre todo, elimina la microbiología de los procesos anteriores (Recinos, 2010).

En los distintos procesos, la degradación de la materia puede ser de forma aerobia o anaerobia. Básicamente, la diferencia es que el tratamiento aerobio es con presencia de oxígeno, mientras que el anaerobio no. El tipo de tratamiento a elegir va a depender de varios factores, el más dominante es el área con la que se cuenta para el diseño de la planta. Normalmente, se utilizan plantas aerobias cuando se cuenta con grandes extensiones de terreno o con terrenos con una topografía de gran pendiente y las plantas anaerobias se utilizan cuando los espacios son más reducidos (Recinos, 2010).

El espacio no es el único factor determinante para utilizar un tipo específico de tratamiento, también la aplicación, eficiencia esperada, entorno y tipo de agua a tratar. Una práctica muy común, por sus buenos resultados, es combinar una planta con tratamiento aerobio y anaerobio para finalmente descargar al cuerpo receptor o reutilizar el agua (Recinos, 2010).

Existen distintos procesos de tratamiento, entre estos podemos mencionar fisicoquímicos, biológicos y químicos; que a su vez, se pueden subdividir en tratamientos por gravedad o con equipo mecanizado. Los procesos biológicos pueden ser aerobios o anaerobios. Los tratamientos más comunes son: sedimentación, separación por flotación, lagunas de estabilización, aireación mecánica, filtros verdes, filtración en medios filtrantes, filtros percoladores, floculación-decantación, desinfección, digestión de lodos, tanques Imhoff, fosa séptica, entre otros (Recinos, 2010).

## **2.4 Planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Rafael Landívar**

La planta está compuesta por dos líneas de tratamiento en paralelo que pueden trabajar en simultáneo o independiente (Figura 11). Desde el tratamiento primario, hasta el tratamiento de lodos, logrando así que la limpieza de cada unidad de tratamiento no implique suspender la operación de la planta (Recinos, 2005).

Al salir de la trampa de grasa, el caudal se divide en dos. La primera parte se dirige al sedimentador primario<sup>1</sup>, luego al filtro-percolador<sup>1</sup>, después al sedimentador secundario 1; y, por último, al hipoclorador. Los lodos que se generan en los dos sedimentadores, el primario y el secundario, son transportados hacia el digestor de lodos<sup>1</sup> y por último al patio de secado de lodos<sup>1</sup>. La otra parte del caudal es transportado a los procesos paralelos a la primera línea. Al finalizar, las dos líneas de tratamiento de agua se vuelven a unir en el hipoclorador para luego ser descargadas al Río Contreras (Recinos, 2005).

### **2.4.1 Uso de la planta de tratamiento**

#### **Población Estudiantil**

La población estudiantil al mes de mayo del año 2011 es de 12,115 estudiantes en total (tanto en jornada matutina, vespertina y plan sábado).

#### **Población de Personal Empleado de la Universidad**

La universidad cuenta con un total de 622 empleados, incluyendo personal,

Docente, administrativo, de mantenimiento, etc. Al mes de mayo del año 2011.

### **Población Total de la Universidad**

La población total al mes de mayo del año 2011 es entonces la suma del personal empleado y la población estudiantil; en otras palabras:

Población Total al mes de Mayo del año 2011= 622+12115 personas

Población Total al mes de Mayo del año 2011 = 12737 personas.

### **Estimación de la Población Universitaria en los próximos 20 años**

La Universidad Rafael Landívar ha crecido tanto en población como en infraestructura física en los últimos años. Lamentablemente no se cuenta con planes concretos para futuras ampliaciones por parte de la universidad, por lo que la estimación de la población futura se hará de acuerdo con la tendencia de crecimiento que la universidad ha venido experimentando en los últimos años. Debido a que la universidad Rafael Landívar cuenta con un área muy extensa no construida aún, así como de varios jardines de gran tamaño, se hará la proyección de la población futura según el método de crecimiento geométrico, por ser éste más conservador que los métodos de crecimiento aritmético y promediado.

### **Fuente y Cantidad de Agua Consumida por la Universidad**

El agua consumida por la universidad Rafael Landívar proviene de un pozo propio situado en el adentro del perímetro de ésta, situado en el jardín adyacente al edificio de mantenimiento y la plaza techada. Este pozo, el cual tiene una capacidad de 114 Galones/Minuto, abastece a dos cisternas, cada una con capacidad de 51300 galones. El tiempo de llenado total de ambas cisternas es de 15 horas. Según datos proporcionados por la universidad, el tiempo requerido para vaciar totalmente ambas cisternas oscila entre 58 y 62 horas. (58 horas es el tiempo que necesita para vaciarse en verano debido a que es en esa época del año en que se consume más agua para riego de jardines, mientras que en invierno se tarda más el vaciado de las

cisternas porque la grama no se riega.) El mecanismo del sistema de bombeo del pozo se activa cuando las cisternas se han vaciado no en su totalidad sino en un 75% (3/4 partes) para volverlas ha llenar. Según la información anterior se presenta el siguiente resumen de datos para el cálculo del caudal consumido.

Caudal del Pozo: 114 Galones/Minuto

Capacidad de cada Cisterna = 51300 Galones

Capacidad Total (2 Cisternas) = 102,600 Galones

Tiempo de Llenado de Ambas Cisternas = 15 Horas

Tiempo de Vaciado Total de Cisternas:

Verano = 58 Horas

Invierno = 62 Horas

Porcentaje de Vaciado Real de Cisternas = 75%

### **Cálculo del Caudal de Aguas Negras Producido por la Universidad Rafael Landivar**

Para calcular el caudal de aguas negras que se produce se debe afectar el caudal de agua consumida por un factor de 0.7. Por lo tanto, Caudal Diario de Aguas Negras =  $0.7 * 42456$  Galones/Día Caudal Diario de Aguas Negras = 29719 Galones/ Día

#### **2.4.2 Descripción de las instalaciones**

La planta está compuesta por dos líneas de tratamiento en paralelo que pueden trabajar en simultáneo o independiente (Figura 11). Desde el tratamiento primario, hasta el tratamiento de lodos, logrando así que la limpieza de cada unidad de tratamiento no implique suspender la operación de la planta (Recinos, 2005).

Al salir de la trampa de grasa, el caudal se divide en dos. La primera parte se dirige al sedimentador primario1, luego al filtropercolador1, después al sedimentador secundario 1; y, por último, al hipoclorador. Los lodos que se generan en los dos sedimentadores, el primario y el secundario, son transportados hacia el digestor de lodos1 y por último al patio de secado de lodos1. La otra parte del caudal es transportado a los procesos paralelos a la primera línea. Al finalizar, las dos líneas

de tratamiento de agua se vuelven a unir en el hipoclorador para luego ser descargadas al Río Contreras (Recinos, 2005).

### Componentes de la planta de tratamiento:

- a) Canal de Rejas, Desarenador, Medidor de Caudal Tipo Vertedero y Trampa de Grasa;
- b) Sedimentador Primario;
- c) Módulo de Filtros Percoladores con Medio Filtrante de Piedra Volcánica;
- d) Sedimentador Secundario;
- e) Digestor de Lodos;
- f) Patio de Secado de Lodos; y
- g) Caja de Descarga Final.

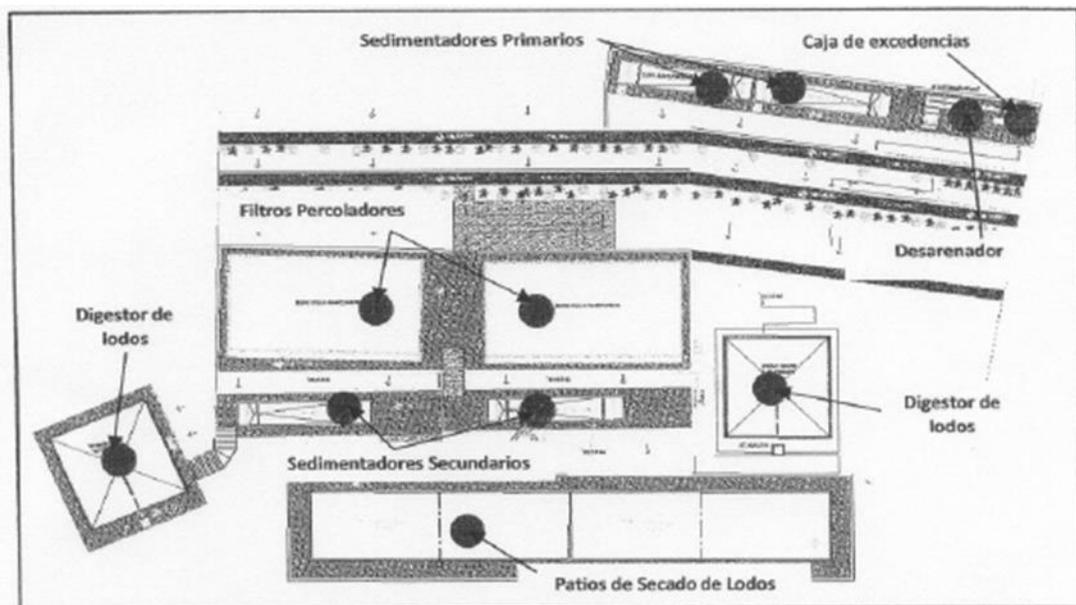


Figura 2. Distribución de la PTAR de la URL, CC. (Aguilar, 2008)

A continuación se describe cada uno de los componentes de la planta de tratamiento:

#### a) Caja de excedencias

Ubicada en el ingreso del caudal a la planta (figura 2). Su función es excluir cualquier cantidad de agua que ingrese y eleve el caudal a uno mayor que el de diseño. Consiste en un canal con un nivel máximo que únicamente permite el ingreso del caudal para el cual fue diseñada la planta (Recinos, 2010).

Cualquier exceso de caudal hace que rebalse el canal, se recolecte el agua rebalsada y se descargue directamente al cuerpo receptor. Los aumentos dramáticos de caudal suceden, por ejemplo, cuando el agua pluvial es recolectada y transportada hacia la planta de tratamiento ya que ésta no fue tomada en cuenta en el diseño (Recinos, 2010)



Figura 3. Canal de Demasías de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

#### **b) Canal de rejas y desarenador**

Es la primera unidad de la planta y junto con la trampa de grasa conforman el pre-tratamiento (figura 3). Consiste en una caja dividida en dos canales rectangulares en paralelo que aseguran el servicio, aun cuando sea necesario realizar limpiezas o mantenimientos. Cada canal tiene una reja con perfiles de secciones rectangulares pintadas con pintura anticorrosiva en el ingreso del caudal. Estas rejillas sirven para separar los desechos de mayor tamaño como palos, piedras, trapos, plásticos, cadáveres de animales o cualquier basura de gran tamaño que sea parte del agua cruda. El agua fluye a lo largo de cada canal; y, por acción de la gravedad, las piedras y arenas que pueden obstaculizar las tuberías y circulación del agua,

quedan retenidas en el canal para únicamente dejar pasar al siguiente proceso de tratamiento la materia orgánica (Recinos, 2005).



Figura 4. Canal de Rejas y Desarenador de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

### **c) Trampa de grasas**

Depósito dispuesto para que la materia menos densa que el agua flote para ser removida, permitiendo así que el agua residual continúe circulando sin grasas por una abertura en la parte baja del depósito (figura 4). Las grasas impermeabilizan las superficies porosas y no pueden ser eliminadas mediante procesos físicos o biológicos (Recinos, 2005).



Figura 5. Trampa de Grasa de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

### **d) Sedimentador primario**

La sedimentación es la separación de los sólidos sedimentables en el agua mediante la acción de la gravedad (figura 5). Está compuesto por un canal

rectangular donde el agua circula lentamente, permitiendo la sedimentación de sólidos en suspensión. El resto de materia no sedimentada puede ser tratada mediante procesos biológicos. Los lodos sedimentados son descargados por válvulas al digestor de lodos y luego al patio de secado para su desecho final. Todo el proceso primario elimina hasta el 60% de los sólidos en suspensión (Recinos, 2005).



Figura 6. Sedimentador Primario de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

#### **e) Filtro percolador**

Inicio del Tratamiento Secundario (figura 6). El agua residual, a la que se le ha eliminado los sólidos de mayor tamaño y parte de los sólidos suspendidos y sedimentables en el tratamiento primario, es rociada sobre un lecho de piedras volcánicas de 1.50 metros de profundidad, filtrándose hacia abajo donde se recolecta en un canal de vaciado. A medida que el agua se filtra entre las piedras, se va formando una película de bacterias aerobias alrededor de las rocas. Estas bacterias descomponen a los contaminantes orgánicos contenidos en el agua en compuestos más sencillos de tratar. De esta forma, la cantidad de sólidos suspendidos en el agua es transformada en sólidos sedimentables. A su vez, la película biológica que se forma en las rocas es parcialmente removida por el paso del agua y arrastrada con ella hasta el siguiente proceso. Del filtro percolador se hace pasar el agua a otro tanque para que sedimenten los lodos (Recinos, 2005).



Figura 7. Filtros Percoladores de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

#### **f) Sedimentador secundario**

Está compuesto por un canal rectangular donde el agua circula lentamente permitiendo que los lodos resultantes de los filtros percoladores se sedimenten al fondo del canal (figura 7). Es indispensable colocar un proceso de sedimentación posterior a la unidad de filtros percoladores ya que ésta provoca el aumento de sólidos sedimentables en el agua. Luego de este proceso, el agua está lista para descargarse al cuerpo receptor con niveles muy bajos de materia orgánica y suspendida. Los lodos sedimentados son descargados al digester de lodos, para finalmente llevarlos al patio de secado para su desecho final (Recinos, 2005).



Figura 8. Sedimentador Secundario de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

#### **g) Hipoclorador**

Única unidad de Tratamiento Terciario (figura 8). Está compuesto por una caja de concreto, la cual sirve de protección al clorinador. Una tubería de agua potable, proveniente de la universidad, se conecta al clorinador en donde se mezcla el agua

potable con hojuelas de hipoclorito de sodio al 13% para obtener una solución de alta concentración de cloro que elimina los microorganismos del agua proveniente de los sedimentadores secundarios. Con esta unidad se completa el proceso de tratamiento de agua residual, teniendo como resultado agua totalmente apta para su descarga al cuerpo receptor, según los parámetros que indica el Acuerdo Gubernativo No.236-2006 (Recinos, 2005).



Figura 9. Hipoclorador de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

#### **h) Digestor de lodos**

Unidad de Tratamiento de Lodos provenientes de los sedimentadores primarios y secundarios (figura 9). La digestión de lodos se lleva a cabo por medio de los organismos anaerobios que fermentan la materia reduciendo los sólidos volátiles, aumentando la gravedad específica de los lodos y produciendo gases. Los procesos de estabilización anaerobia trabajan mejor a temperaturas en el rango de 20-35°C. Los lodos que entran a esta unidad de tratamiento deben estar en un rango de potencial de hidrógeno entre 6 y 8; para regular este parámetro y controlar olores y la proliferación de vectores puede agregarse cal hidratada. El aumento de la temperatura y la reducción del potencial de hidrógeno durante la digestión es normal debido los procesos bioquímicos. La finalidad del proceso es inactivar los lodos; es decir, disminuir la concentración de DBO y cantidad de materia orgánica, para luego eliminar los agentes patógenos en el patio de secado. Por tratarse de un tratamiento anaerobio se debe producir mal olor; de lo contrario, indicaría presencia de oxígeno en el proceso (Recinos, 2005).



Figura 10. Digestor de Lodos de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

#### **i) Patio de secado de lodos**

Área destinada a secar los lodos inactivos provenientes del digestor de lodos (figura 10). Es el método de deshidratación más utilizado por ser de bajo costo, requerir mínimo cuidado y mantenimiento; y, a su vez, cumple con el Artículo 40 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Su objetivo principal es eliminar los agentes patógenos al mismo tiempo que deshidrata los lodos para hacerlos más manejables y fáciles de transportar, esto al volverlos más consistentes y con olor menos ofensivo. El piso es una base permeable de baldosa que permite facilitar el secado de los lodos, pero se recomienda utilizar un rastrillo para homogenizar el secado de los mismos (Recinos, 2005).



Figura 11. Patio de Secado de Lodos de la PTAR de la URL, CC. Marzo 2010.

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua es uno de los recursos más consumidos por todo ser viviente en este planeta; por eso mismo, se tiene la gran responsabilidad de ser racionales con este indispensable recurso que beneficia a todas las personas, animales y plantas en el mundo.

Se necesita establecer información sobre el estado actual de cada una de las unidades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, para determinar que ésta esté trabajando de una forma eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales de este centro educativo y contribuyendo de una manera positiva hacia el ambiente con una menor cantidad de cargas contaminantes dentro del cuerpo receptor (Río Contreras).

Este estudio de investigación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, es elemental, ya que existe escasa información de cómo esta planta trabaja y cuál es su funcionamiento durante el paso de estas aguas en cada unidad del sistema a investigar.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Evaluar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.

### **4.2 Objetivo Específico**

- a) Determinar la calidad del agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, hasta su descarga final hacia el Río Contreras.
- b) Determinar el funcionamiento de cada una de las unidades del sistema de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central y dar a conocer el porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes que tiene cada una de las unidades del sistema.
- c) Establecer las propuestas y recomendaciones del manejo para el mejoramiento de las unidades del sistema de tratamiento.

## V. METODOLOGÍA

### 5.1 Localización

La localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central, está ubicada en Vista Hermosa III, Zona 16, Guatemala, Ciudad de Guatemala, dentro de las coordenadas  $14^{\circ}35'44.33''\text{N}$  y  $90^{\circ}29'11.27''\text{O}$ .



Figura 12. Ubicación de la PTAR de la URL, CC (URL)

### 5.2 Material experimental

El material experimental a utilizar son las muestras de agua residual, tomadas directamente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central.



Figura 13. Esquema de Planta (Universidad Rafael Landívar 2009)

Llegar a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y, antes de entrar, colocarse el equipo de protección personal. Asegurarse de incluir en el maletín todos los instrumentos de muestreo y pruebas in situ que necesitará para la práctica y llenar la hielera con hielo para mantener la temperatura a 4°C y cerrarla.

Antes de iniciar el muestreo, escribir con el marcador permanente sobre un pedazo de cinta adhesiva o etiqueta, el lugar y la hora en el que serán tomadas las muestras. Luego, pegarlo sobre la superficie de cada uno de los cinco (5) recipientes de vidrio, color ámbar o el recipiente que es dado por el laboratorio donde se analizará el contenido del recipiente.

El recipiente que va a servir para la muestra, después de haber sido específicamente rotulado e identificado, se tiene que llevar a un triple lavado del contenido para sacar la muestra, lo que va a servir para que el contenido de la muestra sea lo más homogéneo posible y que no se tenga ningún valor inesperado por la toma de la muestra del agua residual. Después de este proceso, se llega a la toma final de la muestra, donde se sella el recipiente y; rápidamente, se ingresa a la hielera con hielo, ya que se necesita que la muestra permanezca a una temperatura de 4° C, esto para bajar toda actividad física, química y biológica dentro de la muestra.

Comparar los resultados del análisis fisicoquímico y de la muestra tomada al ingreso del agua de la planta con los resultados de la muestra tomada a la salida del agua de la planta, lo que se hace en dos fases.

Calcular el porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros con el fin de determinar la eficiencia global de la planta.

### **5.5.2 Pruebas de laboratorio**

Las pruebas que se realizarán en el laboratorio LAFYM (Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológico de la Universidad de San Carlos), son: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica Oxígeno, Sólidos Sedimentables, Nitrógeno Total y Fósforo Total de las muestras tomadas en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Las metodologías utilizadas son DQO - Método Oxidación Ácido Cromosulfúrico, DBO<sub>5</sub> -Método Espirometrico, Fosforo Total - Metodología Azul Fosfomolibdeno, Nitrógeno Total - Método Digestión Koroleff, Sólidos Sedimentables - Cono IMHOFF

### **5.5.3 Puntos de muestreo**

En los puntos siguientes se realizarán la toma de muestras para realizar el proyecto de investigación:

- A. Caudal Primario;
- B. Sedimentador Primario;
- C. Filtro Percolador;
- D. Sedimentador Secundario; y
- E. Caja de Descarga Final de la Planta de Tratamiento. (Hipo-Cloro).

### **5.4.4 Análisis de la información**

- Se realizará un análisis descriptivo para conocer la eficiencia de remoción de contaminantes que tiene cada una de las unidades dentro del sistema y el proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la URL, Campus Central, en las dos épocas del año (Estiaje e Invierno).

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Sólidos Sedimentables. Estos parámetros se escogieron ya que son los que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales remueve y se presentan según su época y el porcentaje de remoción que realizó el sistema.

Tomando en cuenta el objetivo general planteado para este estudio de investigación y los resultados obtenidos en el laboratorio LAFYM, se llegó a determinar lo siguiente:

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la URL, CC, es de origen ordinaria, ya que el valor de la  $DBO_5$  y la DQO son menores a 500 mg/l, lo que indica que lo que ingresa a la planta es material orgánico en su mayoría.

En cada proceso dentro de esta planta de tratamiento existe una reducción de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) y los Sólidos Sedimentables (SS). Se demuestra con esto que en

cada uno de los procesos, el agua residual disminuye su carga contaminante haciendo así un porcentaje de remoción de los parámetros. No obstante, en la determinación de los nutrientes como Nitrógeno Total (N<sub>t</sub>) y Fósforo Total (F<sub>t</sub>), se puede determinar que el sistema cuenta con una unidad terciaria, pero según los análisis de nutrientes, ésta no es eficiente.

La Figura 14 presenta los resultados del parámetro de DQO, donde se puede observar que se está realizando una remoción poco eficiente de este parámetro en el proceso de entrada y salida de la planta, ya que se hace una descarga final con un bajo porcentaje de carga contaminante de DQO hacia el Río Contreras. Sin embargo, en los procesos de sedimentador primario, secundario y filtro percolador no hay una remoción eficiente de DQO y se debe a muchos factores, entre los más importantes, es que la operación y mantenimiento no están siendo eficientes, ya que puede ser que exista mucha más contaminación por bacterias y algas que se quedan pegadas en las paredes de las unidades que hacen que baje el porcentaje de remoción, ya que se caracterizan por el asentamiento de floculantes y por el sistema de goteo. El resultado de los tres meses estudiados en la época de estiaje es de un promedio de 53% de remoción de DQO y no es tan eficiente en la salida, aunque se tenga un mayor porcentaje en la unidad de salida.

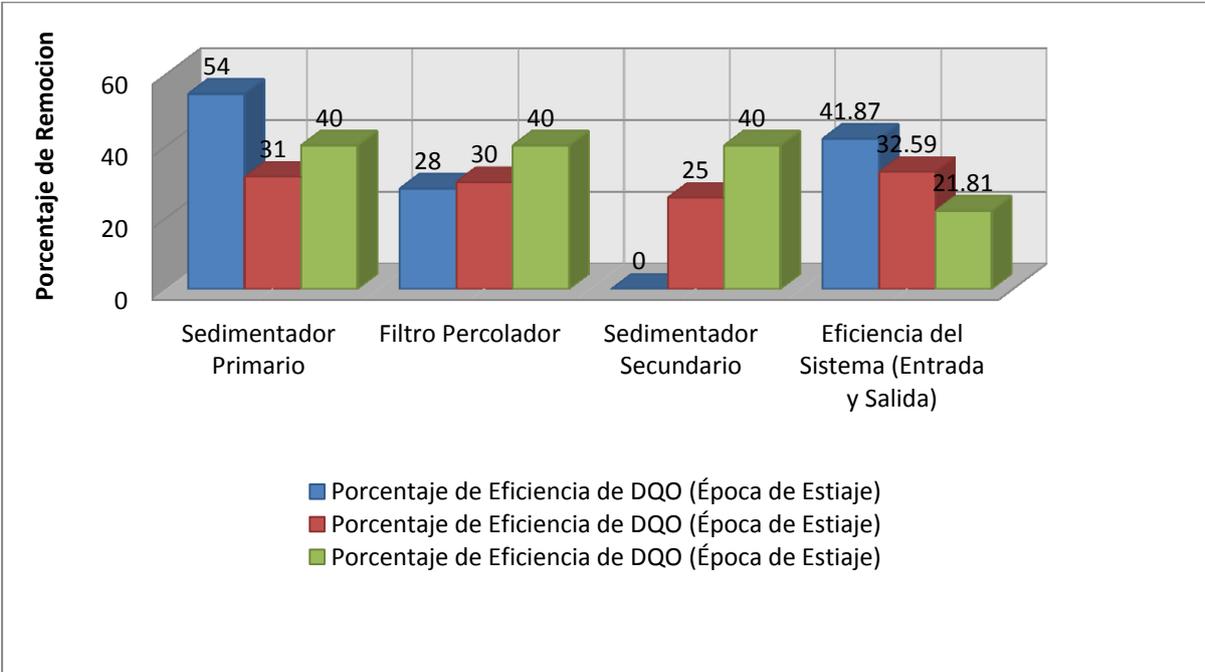


Figura 14.- Resultado del Análisis de Demanda Química de Oxígeno del muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Estiaje 2012.

En la Figura 15 y en el Cuadro 3 se observa que sí hay remoción de DBO<sub>5</sub> del 50% entre la entrada y salida de las unidades mencionadas con anterioridad, según la literatura mencionada en este documento, un 60% de eficiencia significa que está siendo bien la remoción de la materia orgánica. Se puede observar en la gráfica, en los procesos de sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario, la eficiencia favorable, lo que implica que aunque se tenga una buena eficiencia en la salida, si no se mejora en los procesos, no mejora la calidad del agua y el tener un 60% de remoción no es eficiente al 100%; por el contrario, esto perjudica a los procesos ya que se dañan y se incrementa la cantidad de material orgánico en las diferentes etapas de remoción del sistema.

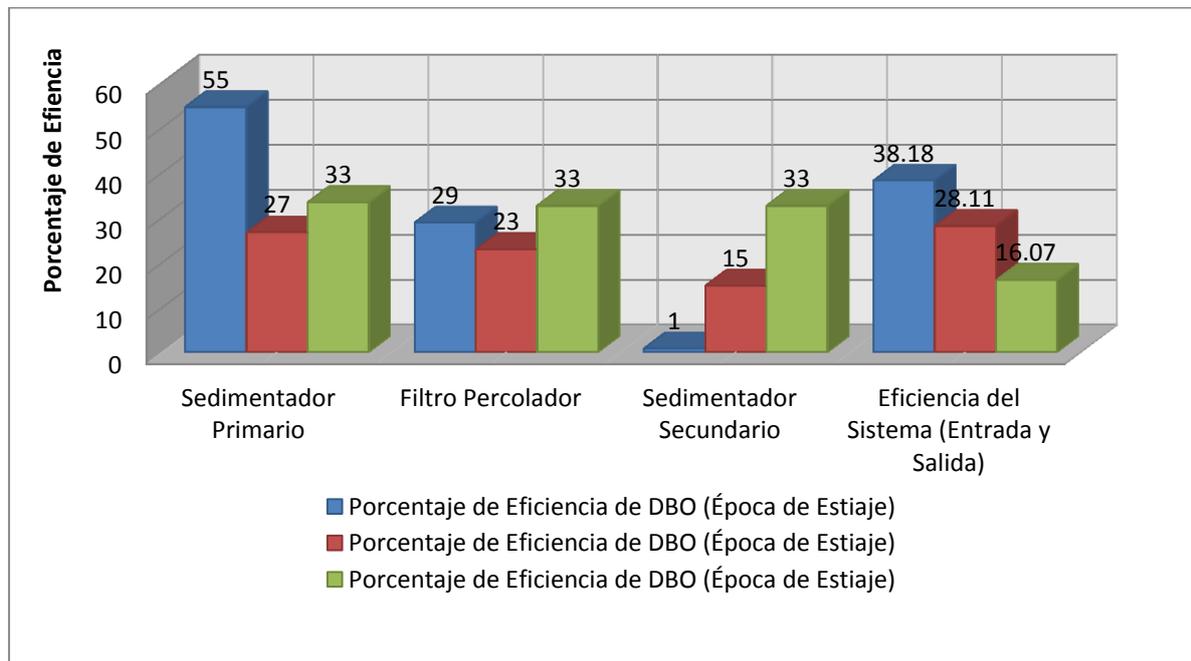


Figura 15.- Resultados del Análisis de Demanda Biológica de Oxígeno del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Estiaje 2012.

En la Figura 16 se presenta que el diseño de la planta cuenta con sedimentadores “Cono Imhoff” rectangular a modo que los sólidos se sedimenten en gravedad y caigan a una cámara de lodos, el cual según las gráficas obtenidas, muestra que no es eficiente ya que las unidades de sedimentadores no están colectando los lodos. Es posible que exista mal diseño en estas áreas de gran importancia y lo demás se tenga que extraer manualmente, pero con respecto a la eficiencia de la planta, la salida es de un 69%, lo cual no es eficiente. Eso es posible que se deba a que el personal de limpieza sea el encargado de eliminar todos los sólidos posibles en todos los procesos.

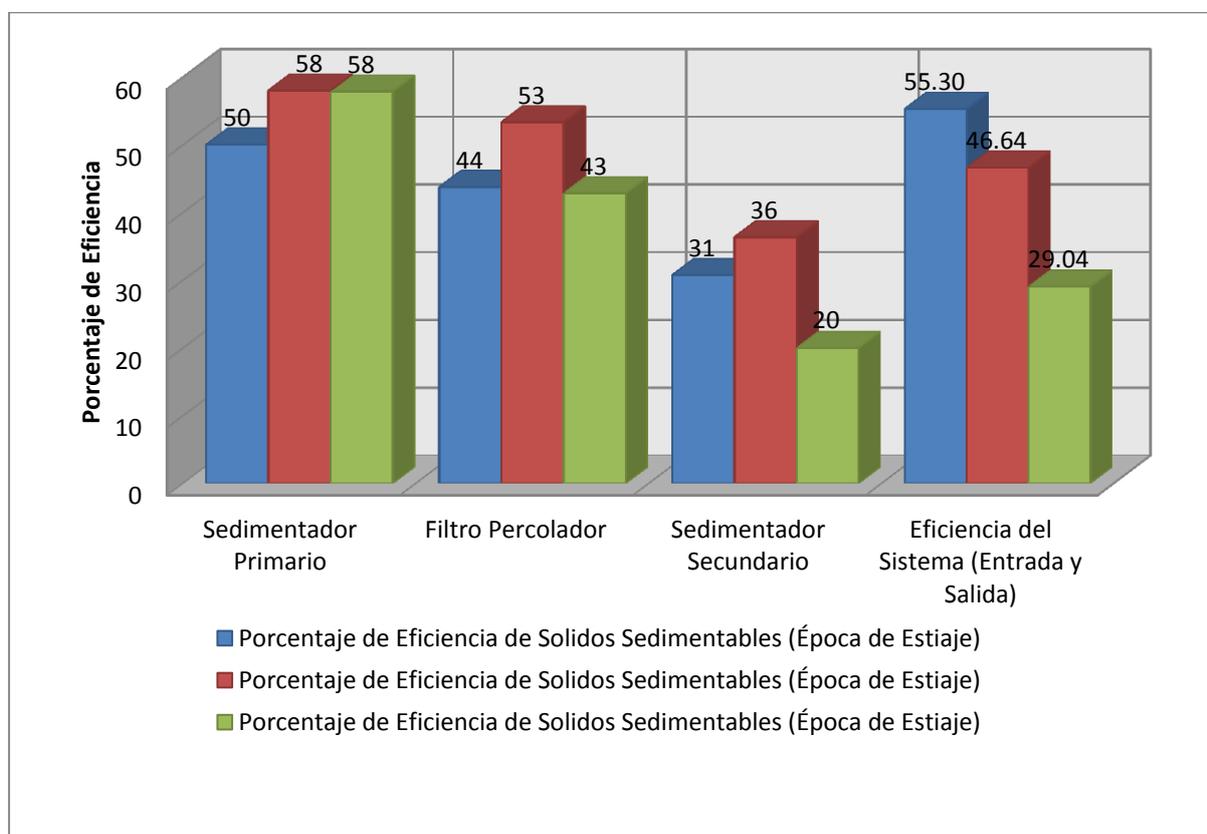


Figura 16.- Resultados del Análisis de Sólidos Sedimentables del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Época de Estiaje 2012.

En las Figuras 17 y 18 se observó que la eficiencia es nula y; en este caso en particular, se puede ver que existen valores negativos que indican que en definitiva no existe un tratamiento terciario adecuado al sistema y que los nutrientes no están siendo eliminados en su totalidad. Se puede definir que el sistema de tratamiento no está haciendo eficiente su trabajo de remoción de nutrientes.

Existen muchas variables por las que se puede decir que el sistema no está siendo eficiente para el tratamiento de eliminación de nutrientes, una de ellas y la más común, es que la limpieza de la planta no sea la adecuada y la cantidad de nutrientes se puede incrementar en los procesos de sedimentación; sin embargo, para este caso en especial, esta planta no es capaz de realizar este proceso porque no cuenta con el tratamiento necesario, ya que el sistema no está diseñado para dichos tratamientos.

Este es un tema de preocupación ya que el alto contenido de nutrientes está siendo descargado hacia el cuerpo receptor, y puesto que estos nutrientes sirven como alimento directo para algunos tipos de algas y bacterias, esto hace que pueda aportar a la rápida degradación de manera directa y negativa a la ecología del Río Contreras.

Regularmente, en la época de lluvia, los parámetros tienden a mejorar ya que la lluvia ayuda a oxigenar o diluir el agua y también porque el volumen de agua se incrementa y los contaminantes tienden a diluirse en tanta agua. Para los resultados obtenidos en esta época, se pudo observar que todos los parámetros mejoraron su eficiencia y bajaron las concentraciones de los contaminantes de materia orgánica, materia inorgánica, nutrientes y sólidos sedimentables.

Las figuras que se presentan a continuación contienen los resultados obtenidos en la época de lluvia, con los mismos parámetros, toma de muestra y los mismos puntos.

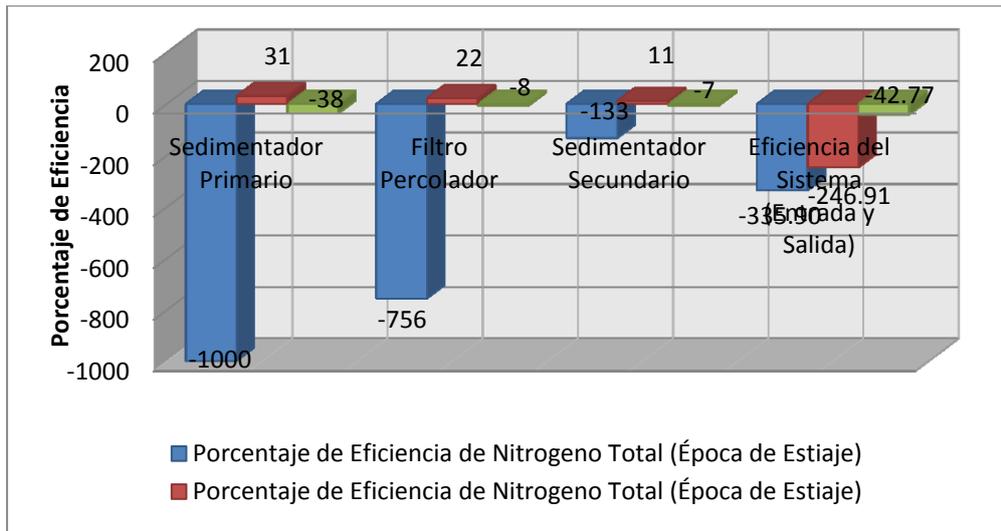


Figura 17.- Resultados del Análisis de Nitrógeno Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Época de Estiaje 2012.

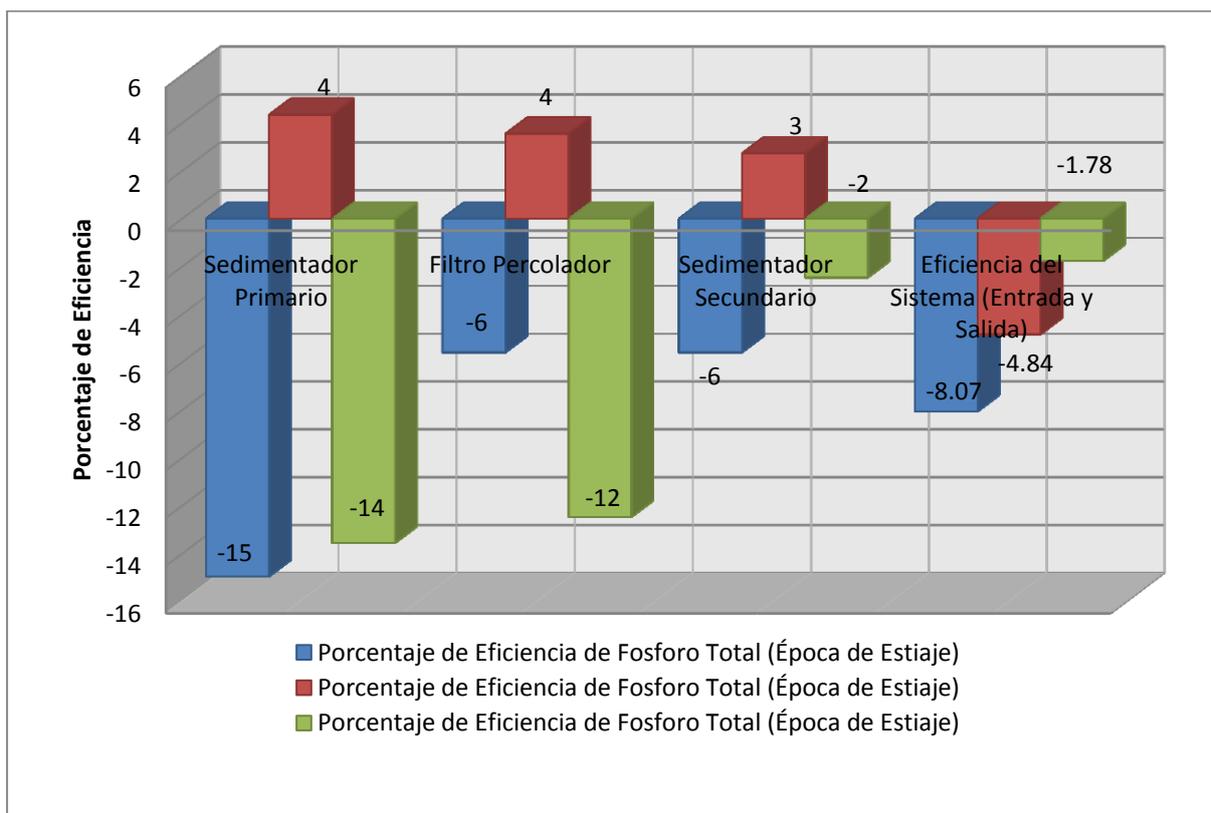


Figura 18.- Resultados del Análisis de Fósforo Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Época de Estiaje 2012.

En el caso de  $P_T$  y  $N_T$ , según el diseño de la planta, cuenta con tratamiento terciario que lo único que hace es agregar cloro para eliminar bacterias que son dañinas para la salud; sin embargo, según la literatura, el diseñar tratamiento terciario en una planta es para la eliminación de nutrientes y; ya luego, viene el proceso de eliminación de bacterias.

En la Figura 19, se observa, en efecto, la eficiente mejora en un 90% de remoción de DQO; sin embargo, se debe de aclarar que la eficiencia mejora por la época de lluvia que influye mucho a que el agua residual se diluya por completo con el agua de lluvia.

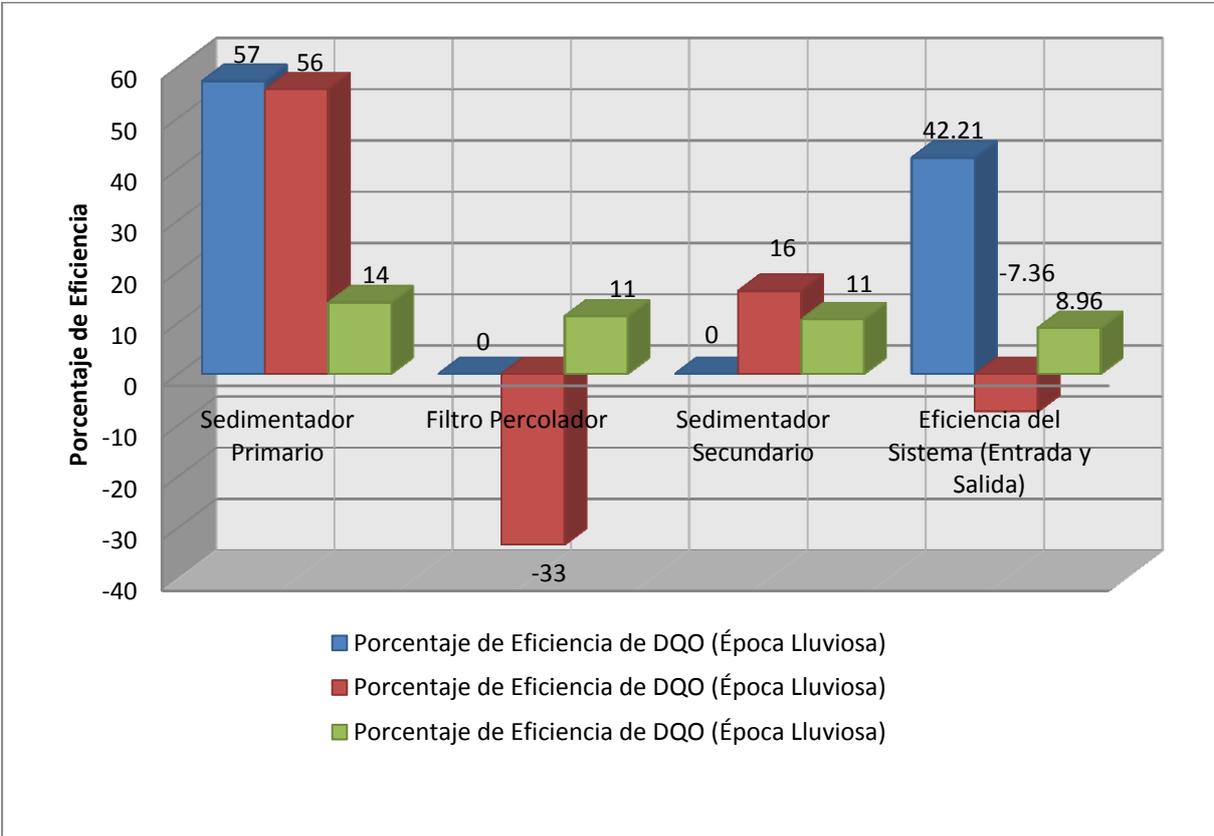


Figura 19.- Resultados del Análisis de Demanda Química de Oxígeno del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012.

En la Figura 20, se observa que la  $DBO_5$ , se mantuvo parecida a la de la época de estiaje; no hay ningún cambio significativo, ya que el comportamiento en su

eficiencia es de un 50% aproximadamente. Esto indica que con respecto a la limpieza del lugar y el mantenimiento están siendo igual en las dos épocas y también que el ingreso del agua residual sí es específicamente ordinaria; sin embargo, bien se podría mejorar porque la lluvia ayuda a poder mantener mejor las unidades del sistema de aguas residuales.

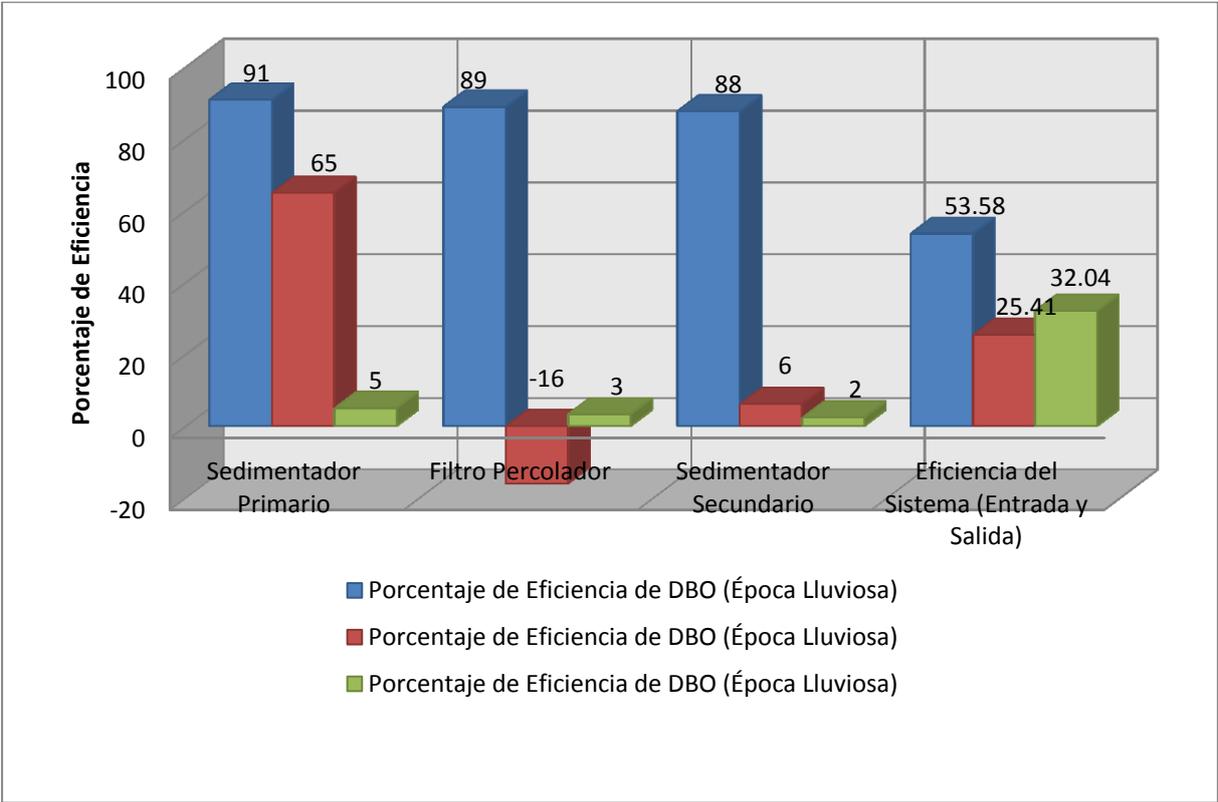


Figura 20.- Resultados del Análisis de Demanda Biológica de Oxígeno del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012.

Para la siguiente unidad, la Figura 21, muestra que para los sólidos sedimentables, la eficiencia se mantuvo igual para las dos épocas; sin embargo, como se mencionó anteriormente, se necesita de la limpieza externa para eliminar lo restante de lodos en las dos unidades, ya que no tiene un buen rendimiento y; como se observó también en la gráfica, por ser la época de lluvia, no aumentó la concentración de sólidos sedimentables y confirma que no ingresa más de la cuenta de sólidos a la planta. Por ende, sólo está ingresando lo de la universidad Rafael Landívar, Campus Central, lo que es en sí su objetivo.

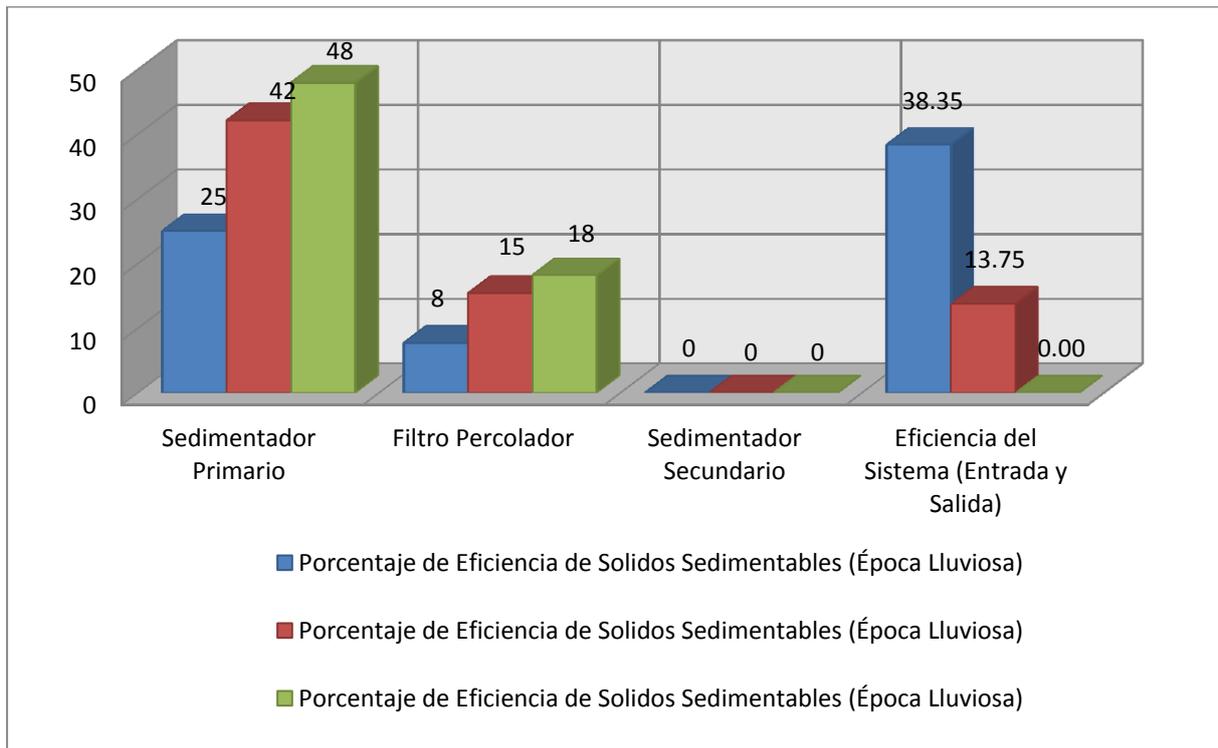


Figura 21.- Resultados del Análisis de Sólidos Sedimentables del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012.

Como se observa en las Figuras 22 y 23, los resultados de  $N_T$  y  $P_T$ , y como ya se había mencionado, la planta de tratamiento no tiene un tratamiento terciario y; a pesar de la época, regularmente hay mayor remoción de estos nutrientes por dilución. Esto confirma que la remoción para  $N_T$  es de 39% y para  $P_T$  es de 44%, lo que significa que en la salida de la planta hay mucha más concentración de nutrientes, confirmando la teoría de que se necesita un mejoramiento en la limpieza de la planta y un tratamiento a corto plazo para mejorar la eficiencia de estos parámetros. Cabe destacar que en el parámetro de  $DBO_5$  y  $DQO$  en el mes de julio se obtuvo una baja de eficiencia, ya que en este mes se realizó el análisis en la fecha programada que coincidió con el comienzo de la canícula de la época lluviosa, afectando los resultados del mes de julio para estos dos parámetros en particular y en el sedimentador secundario, afectando así la eficiencia de la planta en general.

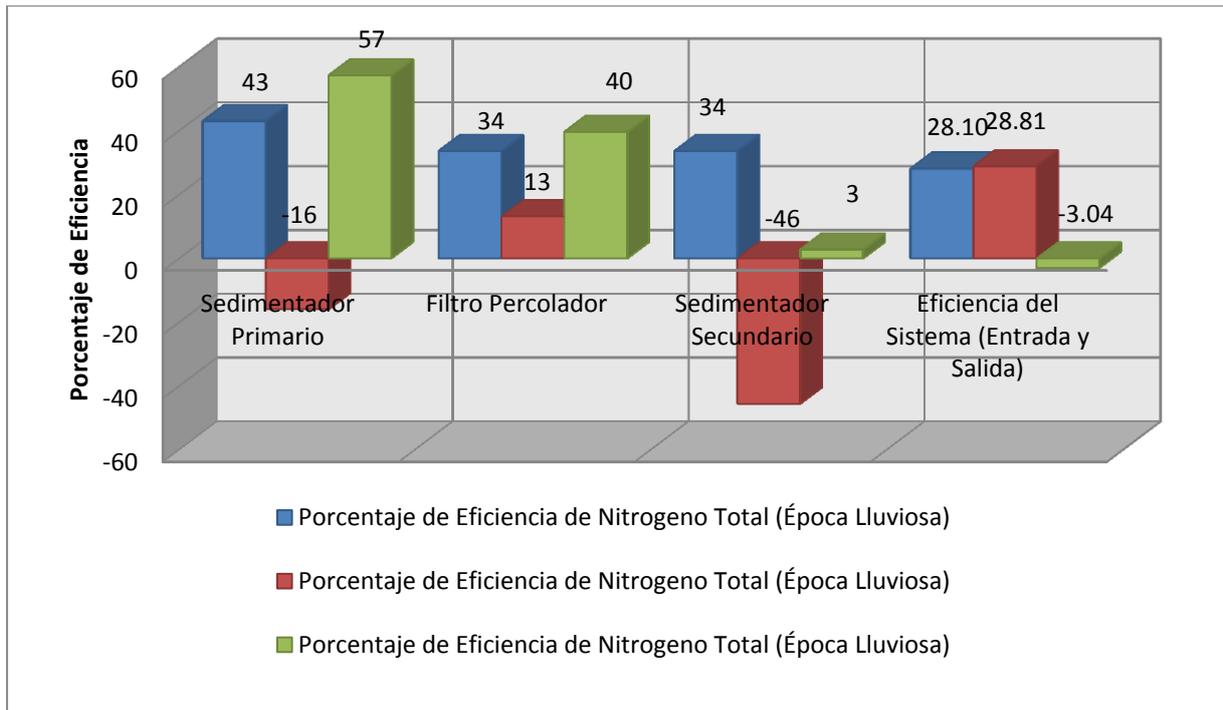


Figura 22.- Resultados del Análisis de Nitrógeno Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012.

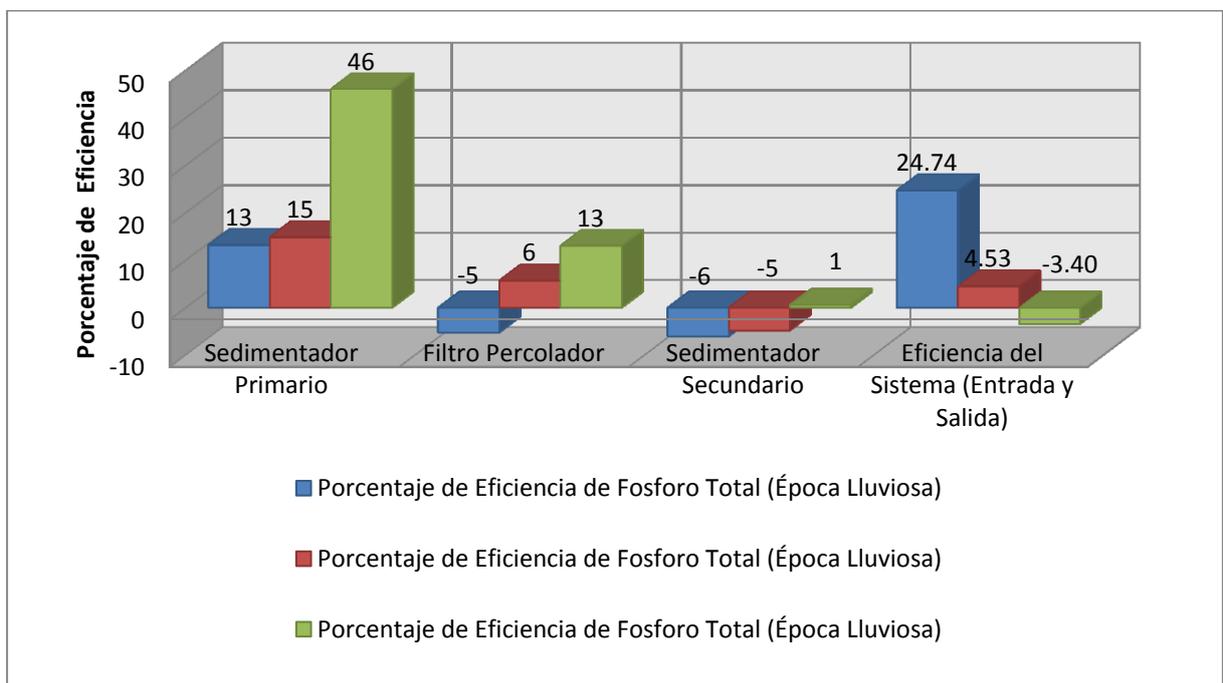


Figura 23.- Resultados del Análisis de Fósforo Total del Muestreo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Época de Lluvia 2012.

Dentro de las observaciones del sistema, el caudal de entrada de la planta era mayor a la que esta puede soportar, ya que en la caja de excedencias había una sobrecarga de agua cruda que en esta ingresaba, dando un rebalse que iba de una manera directa hacia el cuerpo de agua receptor, este error se puede observar tanto en la época de estiaje y en la época de invierno, lo que da idea de que el caudal de aguas negras producido por la universidad ya sobrepasa la capacidad de la planta.

Dentro de la época de estiaje se observó una diferencia notoria entre las horas bajas de asistencia a los servicios sanitarios y las horas pico, haciendo que las mediciones pudieran variar en cuanto a su composición. En la época de invierno no se lograban distinguir estos picos, porque la capacidad de la planta es sobrepasada por las precipitaciones, haciendo que en general los valores bajen porque los contaminantes están diluidos.

## VII. CONCLUSIONES

- El sistema de tratamiento funciona entre un 50% y 60% para los parámetros de Demanda Química de oxígeno, Demanda Biológica de oxígeno y Sólidos Sedimentables.
- El porcentaje de remoción de los sólidos, demuestra que las unidades de sedimentación del sistema de tratamiento son poco eficientes, esto se puede deber al mantenimiento de la planta o la estructura de la misma.
- Dentro del sistema no existe una remoción eficiente de Nitrógeno y Fósforo total, ya que no existe un tratamiento determinado para la reducción de estos mismos.
- La liberación de los nutrientes de fósforo total y nitrógeno total al Río Contreras, que es el cuerpo de agua receptor final puede colaborar con la eutrofización del mismo.
- El tratamiento que recibe al final del sistema que es la cloración, sólo reduce bacterias como *E.coli* y *Coliformes Totales*.
- En el análisis de la planta se pudo observar un pobre mantenimiento de servicio de limpieza.
- Dentro de los meses de Julio y Agosto las muestras se tomaron bajo condiciones de precipitación, haciendo que las mismas tuvieran una mayor dilución del agua cambiando directamente las características de las mismas y el resultado.
- Se necesita un monitoreo basado directamente sobre la forma en que se realiza la limpieza dentro del sistema de tratamiento ya que en la forma en la

que se realiza puede perjudicar directamente a la eficiencia de remoción de contaminantes.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Evaluar la Planta para poder realizar el Tratamiento Terciario, ya que no se cuenta con ello. Podría realizarse un tratamiento biológico o un tratamiento químico para la eliminación de nutrientes.
- Incentivar a los estudiantes, catedráticos y personal administrativo a que utilicen todos los productos de baño, de limpieza y otros biodegradables, puesto que la Planta de Tratamiento no cuenta con el Tratamiento Terciario.
- Que el personal de jardinería y área de cultivos utilice productos, en concentraciones bajas, de fertilizantes, especialmente de nitrógeno total.
- Reutilizar los lodos de la Planta de Tratamiento como fertilizante, ya que no tienen ningún uso en especial, se desperdician.
- Analizar qué tipos de tratamientos se pueden utilizar para poder eliminar los nutrientes en los diferentes procesos de la Planta de Tratamiento.
- La Planta de Tratamiento podría mejorar su eficiencia sólo con que se tenga un mejor control y manejo de personal.
- Usar el agua residual de la Planta de Tratamiento para riego de jardines, riego para cultivos, riego para árboles tanto forestales como frutales entre otros, ya que la carga de nutrientes no es dañina para la salud y es posible su uso.
- Hacer una evaluación del Río Contreras, hacia donde descarga la Planta y evaluar puntos diferentes en un trayecto para conocer el impacto que ha

hecho el ingreso de aguas residuales de la URL, Campus Central, en relación con los nutrientes.

- Hacer una medición del caudal de entrada de las aguas crudas para poder enlazar cargas contaminantes.
- Realizar monitoreo compuesto y verificar estos con el Reglamento 236-2006 de aguas residuales.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Carrera, (2008). Estudio técnico. Planta de tratamiento de agua residual Del campus central de la Universidad Rafael Landívar. Inversiones Ambientales de Guatemala S.A.

American Public Health Association (APHA). 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Edition. Editorial continental. United States of America.

Camarero Barreda, P (2009). "Evaluación de tres dosis de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales domesticas que llegan a la planta de tratamiento Villalobos I". Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Castro de Esparza, M. L. (1988). Parámetros Físico-Químicos que influyen en la Calidad y en el Tratamiento del Agua. Lima: CEPIS.

Duarte Segura, (2002). Diseño de una Planta de Tratamiento Para Las Aguas Negras de La Universidad Rafael Landívar.

Glynn, H. J., & Gary W., H. (1999). Ingeniera Ambiental. Mexico: Prentice Hall.

Hillbeboe, H. E. (2005). Manual de Tratamiento de Aguas Negras. En H. E.Hillbeboe, Manual de Tratamiento de Aguas Negras (págs. 34 -38). Mexico: Limusa.

Jimenez, E. B. (2002). La Contaminacion Ambiental en Mexico. Mexico: Limusa, Noriega Editores.

Kestler Rojas, P. J. (2004). Tesis "Uso, Reuso y Reciclaje del Agua Residual en una Vivienda". Guatemala: Universidad Rafael Landivar.

(MARN), M. d. (2005). Indicadores Ambientales Municipales. Guatemala.

- (MARN), M. d. (2005). Manual para el Monitoreo de Aguas Residuales. Guatemala.
- Morales Ochoa, R. E. (2007). Evaluacion de la Planta de Tratamiento de aguas residuales en la Primera Brigada de Infanteria "General Luis Garcia León", Santa Elena Peten. Guatemala: FAUSAC.
- Perry D., C., Cox, M., & Beger, P. (2002). Aspectos de la Calidad de Agua, Salud y Estetica. En R. D. Letterman, Calidad y Tratamiento del Agua (pág. 73). Madrid, España: MCGraw-Hill/Interamericana de España.
- Recinos Arenas, C. M. (2010). "Guía para el muestro y determinación de pruebas laboratorio de planta-escuela de tratamiento de agua residual del campus central, "Universidad Rafael Landívar". Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- República, C. d. (2006). "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOCISION DE LODOS". Guatemala: Congreso de la Republica.
- Romero Rojas, J. A. (1999). Calidad del Agua 2da.Edición. En J. A. Romero Rojas, Calidad del Agua 2da.Edición (pág. 143). Mexico, D.F: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A de C.V.
- Sánchez de León, E. M. (2001). Sistema Integrado de Tratamiento y uso de Aguas Residuales en America Latina: Realidad y Potencial. Sololá, Guatemala: IDRC – OPS/HEP/CEPIS.
- Universidad Rafael Landívar. (2009). Reuso del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar para el riego de los jardines del campus. *Revista*

*Electrónica Facultad de Ingeniera (No.13).*

Weber, W. J. (2003). Control de la Calidad del Agua. Procesos Físicoquímicos.  
En W. J. Weber, Control de la Calidad del Agua. Procesos físicoquímicos  
(pàgs.302-303). Barcelona:Editorial Reverte.

Worldwater.org, Recuperado de 2006: [worldwater.org/water-data/](http://worldwater.org/water-data/)

## X. ANEXOS

### Anexo 1. Resultados obtenidos en los componentes de la planta de tratamiento

#### Resultados de demanda química de oxígeno (DQO):

**Cuadro 2. Demanda química de oxígeno (DQO) en época de estiaje (seca).**

Muestra de la época de Estiaje	Febrero	Marzo	Abril	Promedio
<b>DQO</b>				
By Pass	301.00 mg/L	215.00mg/L	16.00 mg/L	177.34 mg/L
Sedimentador Primario	287.00 mg/L	192.00 mg/L	10.00 mg/L	163.00 mg/L
Filtro Percolador	182.00 mg/L	188.00 mg/L	10.00 mg/L	126.67 mg/L
Sedimentador Secundario	131.00 mg/L	177.00 mg/L	10.00 mg/L	106.00 mg/L
Caja Hipo-Cloro	131.00 mg/L	132.00 mg/L	6.00 mg/L	89.67 mg/L

**Cuadro 3. Demanda química de oxígeno (DQO) en época de invierno.**

Muestra de la época de Invierno	Junio	Julio	Agosto	Promedio
<b>DQO</b>				
By Pass	85.00 mg/L	292.00 mg/L	169.00 mg/L	182.00 mg/L
Sedimentador Primario	14.00 mg/L	198.00 mg/L	165.00 mg/L	125.66 mg/L
Filtro Percolador	6.00 mg/L	66.00 mg/L	160.00 mg/L	73.33 mg/L
Sedimentador Secundario	6.00 mg/L	105.00 mg/L	159.00 mg/L	86.00 mg/L
Caja Hipo-Cloro	6.00 mg/L	88.00 mg/L	142.00 mg/L	74.66 mg/L

**Cuadro 4. Porcentaje de remoción de DQO en época de estiaje (seca).**

Muestras de la Época de Estiaje	Febrero	Marzo	Abril	Promedio
<b>Porcentaje de Remoción</b>				
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO<sub>5</sub>).</b>				
Sedimentador Primario	54.35%	31.25%	40%	41.86%
Filtro Percolador	28.02%	29.78%	40%	32.59%
Sedimentador Secundario	0%	25.42%	40%	21.81%

**Cuadro 5. Porcentaje de remoción de DQO en época de invierno.**

Muestras de la Época de Invierno	Junio	Julio	Agosto	Promedio
<b>Porcentaje de Remoción</b>				
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>				
Sedimentador Primario	57.14%	55.56%	13.93%	42.21%
Filtro Percolador	0%	-33.33%	11.25%	-7.36
Sedimentador Secundario	0%	16.19%	10.69%	8.96

## Resultados de demanda biológica de oxígeno (DBO):

**Cuadro 6. Demanda biológica de oxígeno (DBO) en época de estiaje (seca).**

Muestra de la época de Estiaje				
DBO <sub>5</sub>	Febrero	Marzo	Abril	Promedio
By Pass	231.00 mg/L	150.00 mg/L	12.00 mg/L	131.00 mg/L
Sedimentador Primario	220.00 mg/L	144.00 mg/L	9.00 mg/L	124.33 mg/L
Filtro Percolador	140.64 mg/L	137.24 mg/L	8.90 mg/L	95.60 mg/L
Sedimentador Secundario	100.87 mg/L	123.92 mg/L	8.90 mg/L	77.89 mg/L
Caja Hipo-Cloro	100.00 mg/L	105.60 mg/L	6.00 mg/L	70.53 mg/L

**Cuadro 7. Demanda biológica de oxígeno (DBO) en época de invierno.**

Muestra de la época de Invierno				
DBO <sub>5</sub>	Junio	Julio	Agosto	Promedio
By Pass	80.00 mg/L	219.00 mg/L	118.00 mg/L	139.00 mg/L
Sedimentador Primario	10.90 mg/L	189.00 mg/L	112.00 mg/L	103.97 mg/L
Filtro Percolador	9.00 mg/L	57.10 mg/L	110.00 mg/L	58.70 mg/L
Sedimentador Secundario	8.10 mg/L	70.50 mg/L	109.00 mg/L	62.53 mg/L
Caja Hipo-Cloro	0.00 mg/L	66.20 mg/L	106.40 mg/L	57.54 mg/L

**Cuadro 8. Porcentaje de remoción de DBO en época de estiaje (seca).**

Muestras de la Época de Estiaje				
Porcentaje de Remoción				
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	Febrero	Marzo	Abril	Promedio
Sedimentador Primario	54.54%	26.66%	33.33%	38.18%
Filtro Percolador	28.84%	22.91%	32.58%	28.11%
Sedimentador Secundario	0.86%	14.78%	32.58%	16.07%

**Cuadro 9. Porcentaje de remoción de DBO en época de invierno.**

Muestras de la Época de Invierno				
Porcentaje de Remoción				
Demanda Biológica Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Sedimentador Primario	90.82%	64.92%	5%	53.58%
Filtro Percolador	88.88%	-15.93%	3.27%	25.41%
Sedimentador Secundario	87.65%	6.1%	2.38%	32.04%

**Resultados de nitrógeno total (N<sub>T</sub>):****Cuadro 10. Nitrógeno Total en época de estiaje (seca).**

Muestra de la época de Estiaje				
NITROGENO TOTAL	Febrero	Marzo	Abril	Promedio
By Pass	0.10 mg/L	8.90 mg/L	8.60 mg/L	5.87 mg/L
Sedimentador Primario	0.70 mg/L	7.80 mg/L	9.10 mg/L	5.87 mg/L
Filtro Percolador	0.90 mg/L	7.40 mg/L	11.70 mg/L	6.67 mg/L
Sedimentador Secundario	3.30 mg/L	6.10 mg/L	11.80 mg/L	7.06 mg/L
Caja Hipo-Cloro	7.70 mg/L	5.40 mg/L	12.60 mg/L	8.56 mg/L

**Cuadro 11. Nitrógeno Total en época de invierno.**

Muestra de la época de Invierno				
NITROGENO TOTAL	Junio	Julio	Agosto	Promedio
By Pass	15.80 mg/L	10.10 mg/L	4.30 mg/L	10.06 mg/L
Sedimentador Primario	12.50 mg/L	9.60 mg/L	4.10 mg/L	8.73 mg/L
Filtro Percolador	10.70 mg/L	11.40 mg/L	2.90 mg/L	8.33 mg/L
Sedimentador Secundario	10.70 mg/L	6.80 mg/L	1.80 mg/L	6.64 mg/L
Caja Hipo-Cloro	7.10 mg/L	9.90 mg/L	1.75 mg/L	6.25 mg/L

**Cuadro 12. Porcentaje de remoción de nitrógeno total en época de estiaje (seca).**

Muestras de la Época de Estiaje				
Porcentaje de Remoción				
Nitrógeno Total (N <sub>T</sub> )	Febrero	Marzo	Abril	Promedio
Sedimentador Primario	-1000%	30.76%	-38.46%	-335.90%
Filtro Percolador	-755,55%	22.47%	-7.64%	-246.91%
Sedimentador Secundario	-133,33%	11.47%	-6.77%	-42.77%

**Cuadro 13. Porcentaje de remoción de nitrógeno total en época de invierno.**

Muestras de la Época de Invierno				
Porcentaje de Remoción				
Nitrógeno Total (N <sub>T</sub> )	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Sedimentador Primario	43%	-3.13%	57.31%	28.10%
Filtro Percolador	33.64%	13.15%	39.65%	28.81%
Sedimentador Secundario	33.64%	-45.54%	2.77%	-3.04%

## Resultados de Fosforo Total:

**Cuadro 14. Fosforo Total en época de estiaje (seca).**

<b>Muestra de la época de Estiaje</b>				
<b>FOSFORO TOTAL</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Promedio</b>
By Pass	2.28 mg/L	6.19 mg/L	4.92 mg/L	4.46 mg/L
Sedimentador Primario	4.64 mg/L	5.96 mg/L	6.19 mg/L	5.59 mg/L
Filtro Percolador	5.35 mg/L	5.91 mg/L	6.25 mg/L	5.83 mg/L
Sedimentador Secundario	5.35 mg/L	5.86 mg/L	6.86 mg/L	6.02 mg/L
Caja Hipo-Cloro	5.68 mg/L	5.70 mg/L	7.03 mg/L	6.14 mg/L

**Cuadro 15. Fosforo Total en época de invierno.**

<b>Muestra de la época de Invierno</b>				
<b>FOSFORO TOTAL</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Promedio</b>
By Pass	4.72 mg/L	3.89 mg/L	4.30 mg/L	4.30 mg/L
Sedimentador Primario	3.25 mg/L	3.09 mg/L	3.08 mg/L	3.14 mg/L
Filtro Percolador	2.68 mg/L	2.79 mg/L	1.91 mg/L	2.46 mg/L
Sedimentador Secundario	2.66 mg/L	2.51 mg/L	1.67 mg/L	2.28 mg/L
Caja Hipo-Cloro	2.82 mg/L	2.63 mg/L	1.66 mg/L	2.37 mg/L

**Cuadro 16. Porcentaje de remoción de fósforo total en época de estiaje.**

<b>Muestras de la Época de Estiaje</b>				
<b>Porcentaje de Remoción</b>				
<b>Fosforo Total (P<sub>T</sub>)</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Promedio</b>
Sedimentador Primario	-14.97%	4.34%	-13.57%	-8.07%
Filtro Percolador	-5.6%	3.55%	-12.48%	-4.84%
Sedimentador Secundario	-5.6%	2.73%	-2.47%	-1.78%

**Cuadro 17. Porcentaje de remoción de fósforo total en época de invierno.**

<b>Muestras de la Época de Invierno</b>				
<b>Porcentaje de Remoción</b>				
<b>Fosforo Total (P<sub>T</sub>)</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Promedio</b>
Sedimentador Primario	13.23%	14.88%	46.1%	24.74%
Filtro Percolador	-5.22%	5.73%	13.08%	4.53%
Sedimentador Secundario	-6.01%	-4.78%	0.59%	-3.40%

## **Resultados de Sólidos Sedimentables:**

**Cuadro 18. Sólidos sedimentables en época de estiaje (seca).**

<b>Muestra de la época de Estiaje</b>				
<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Promedio</b>
By Pass	26.00 mg/L	20.00 mg/L	26.00 mg/L	24.00 mg/L
Sedimentador Primario	18.00 mg/L	17.00 mg/L	19.00 mg/L	18.00 mg/L
Filtro Percolador	16.00 mg/L	15.00 mg/L	14.00 mg/L	15.00 mg/L
Sedimentador Secundario	13.00 mg/L	11.00 mg/L	10.00 mg/L	11.67 mg/L
Caja Hipo-Cloro	9.00 mg/L	7.00 mg/L	8.00 mg/L	8.00 mg/L

**Cuadro 19. Sólidos sedimentables en época de invierno.**

<b>Muestra de la época de Invierno</b>				
<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Promedio</b>
By Pass	24.00 mg/L	26.00 mg/L	23.00 mg/L	24.34 mg/L
Sedimentador Primario	16.00 mg/L	19.00 mg/L	17.00 mg/L	17.34 mg/L
Filtro Percolador	13.00 mg/L	13.00 mg/L	11.00 mg/L	12.33 mg/L
Sedimentador Secundario	12.00 mg/L	11.00 mg/L	9.00 mg/L	10.67 mg/L
Caja Hipo-Cloro	12.00 mg/L	11.00 mg/L	9.00 mg/L	10.67 mg/L

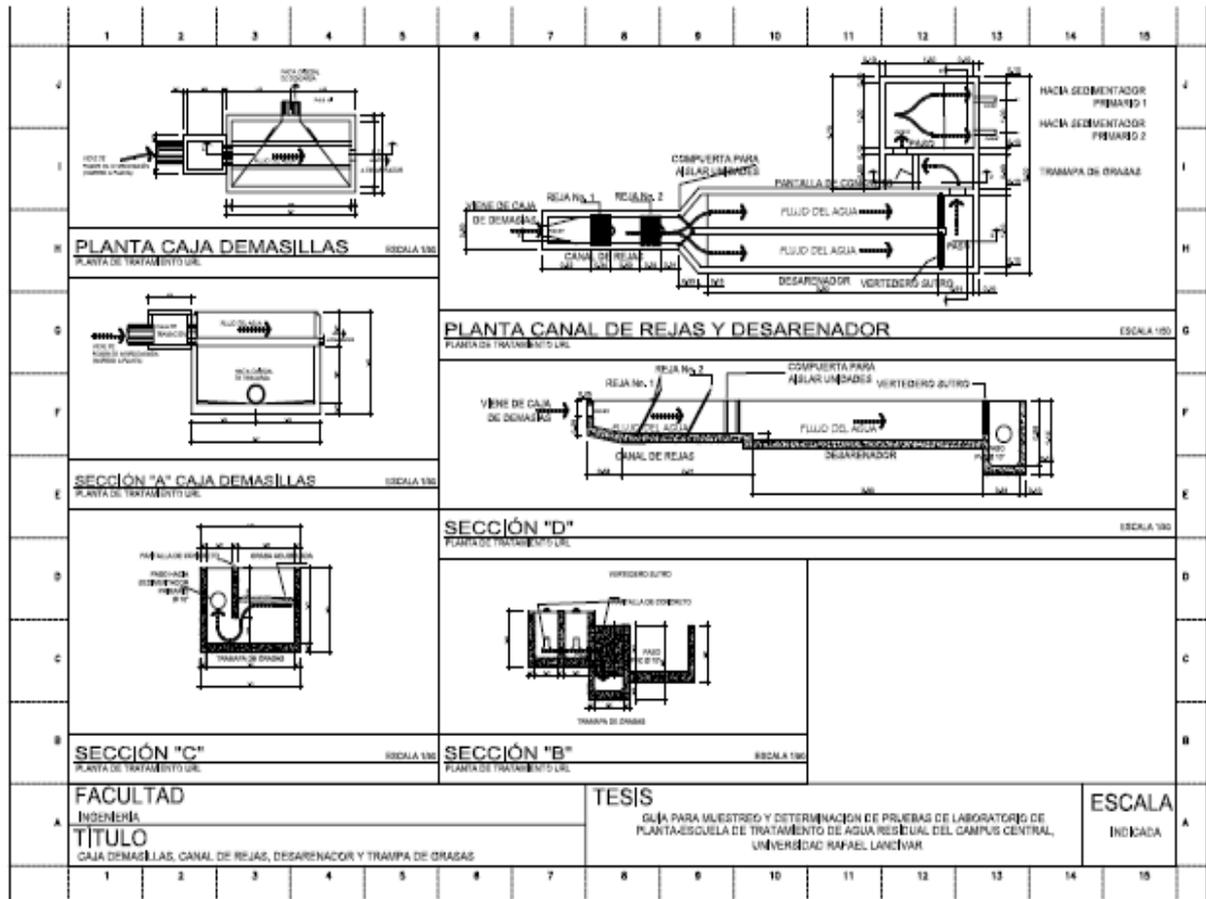
**Cuadro 20. Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables en época de estiaje (seca).**

<b>Muestras de la Época de Estiaje</b>				
<b>Porcentaje de Remoción</b>				
<b>Sólidos Sedimentables</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Promedio</b>
Sedimentador Primario	50%	58%	57.89%	53.30%
Filtro Percolador	43.75%	53.33%	42.85%	46.64%
Sedimentador Secundario	30.76%	36.36%	20%	29.04%

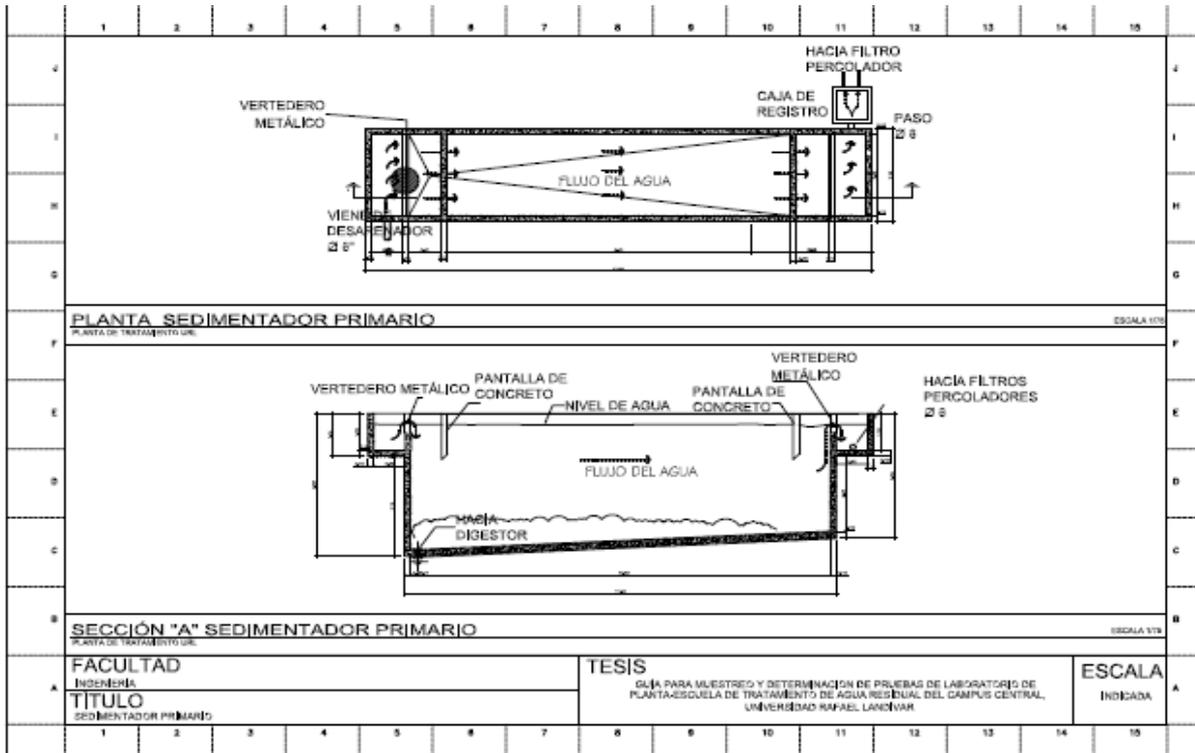
**Cuadro 21. Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables en época de invierno.**

<b>Muestras de la Época de Invierno</b>				
<b>Porcentaje de Remoción</b>				
<b>Sólidos Sedimentables</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Promedio</b>
Sedimentador Primario	25%	42.1%	47.05%	38.35%
Filtro Percolador	7.69%	15.38%	18.18%	13.75%
Sedimentador Secundario	0%	0%	0%	0.00%

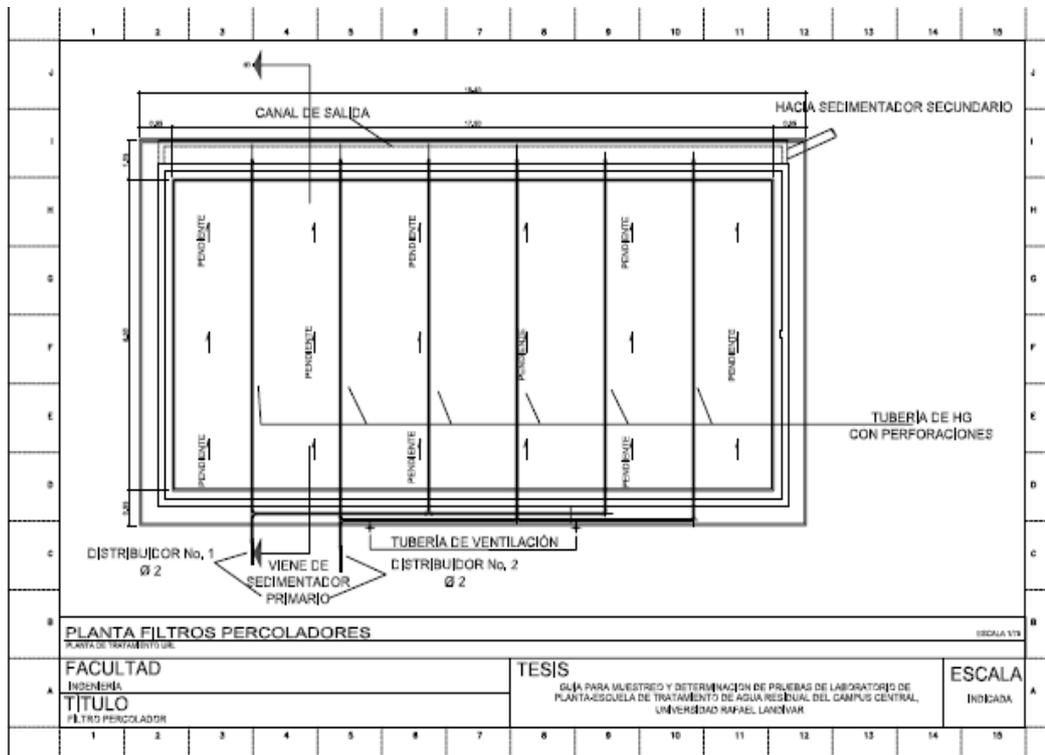
## ANEXO 2. PLANOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR:



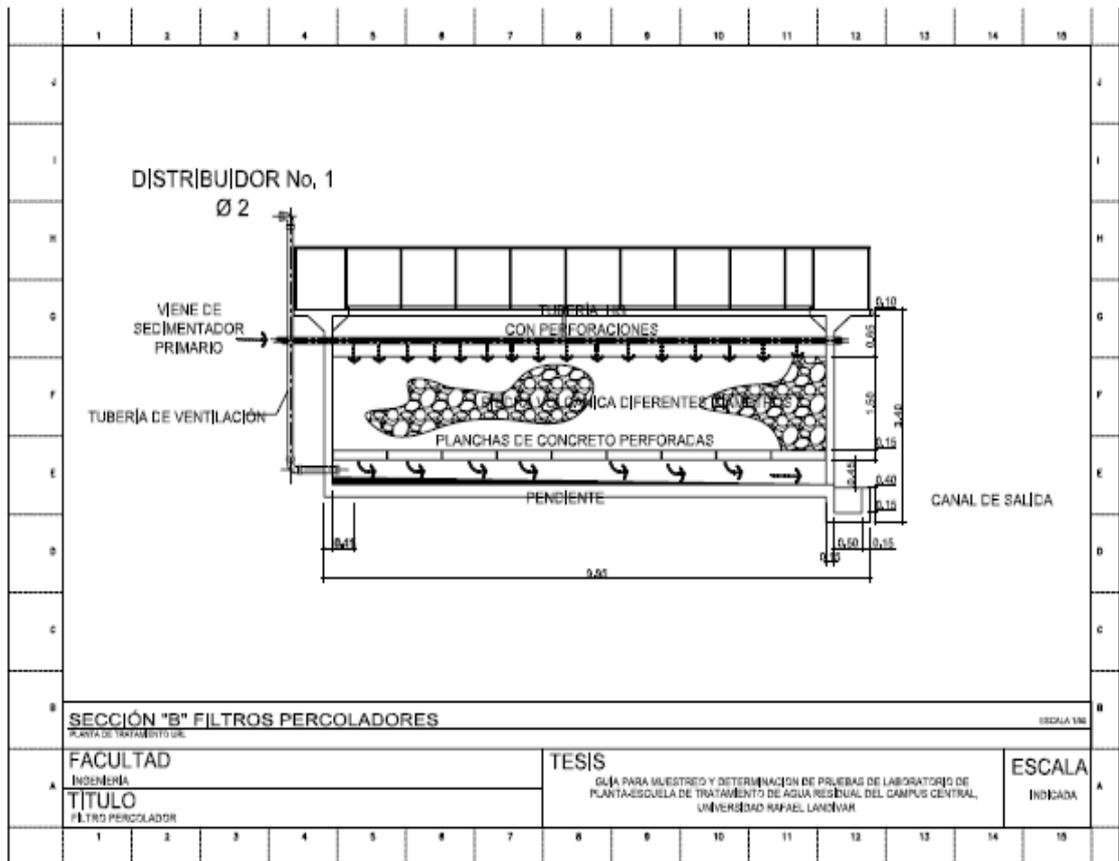
Caja Demasillas, canal de rejas y Desarenador



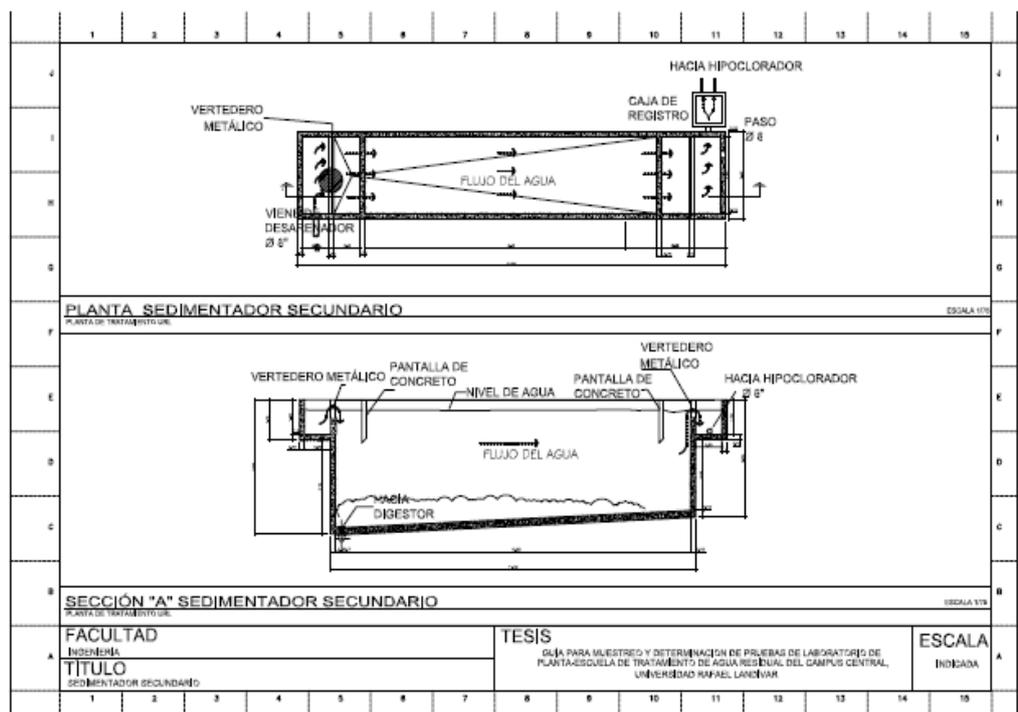
Sedimentador Primario



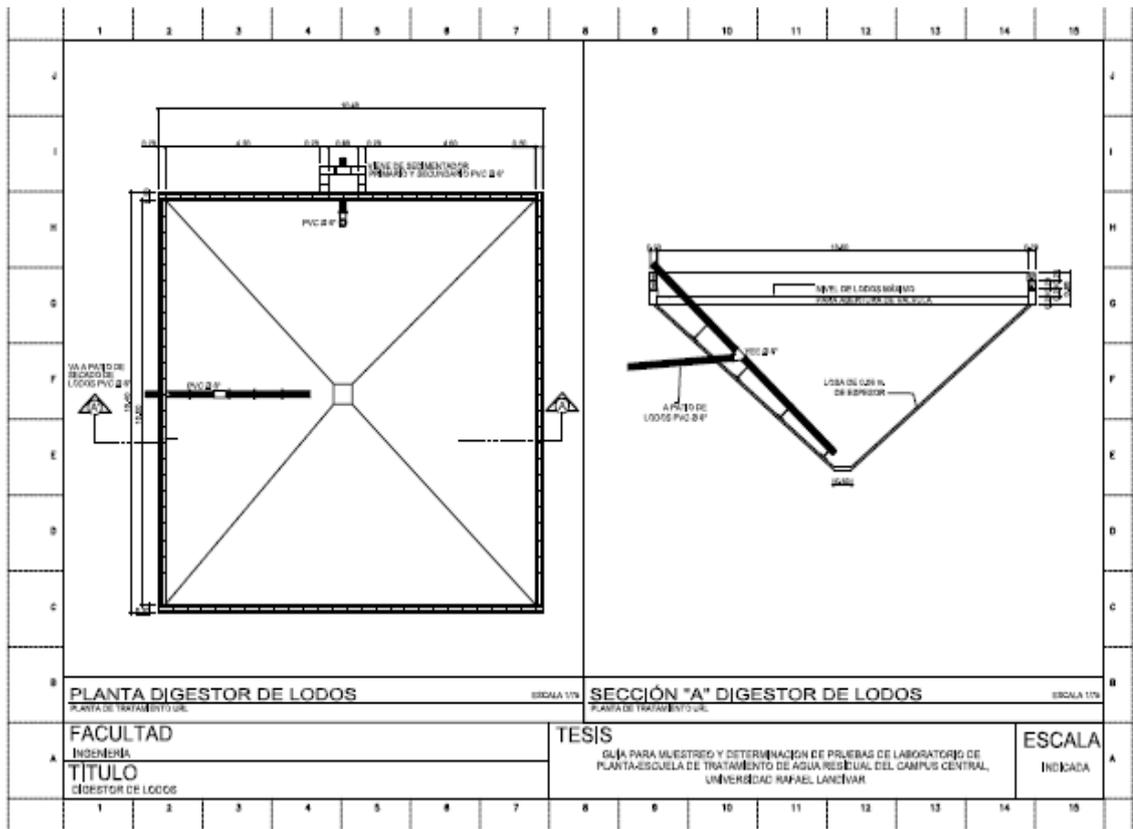
Filtro Percolador



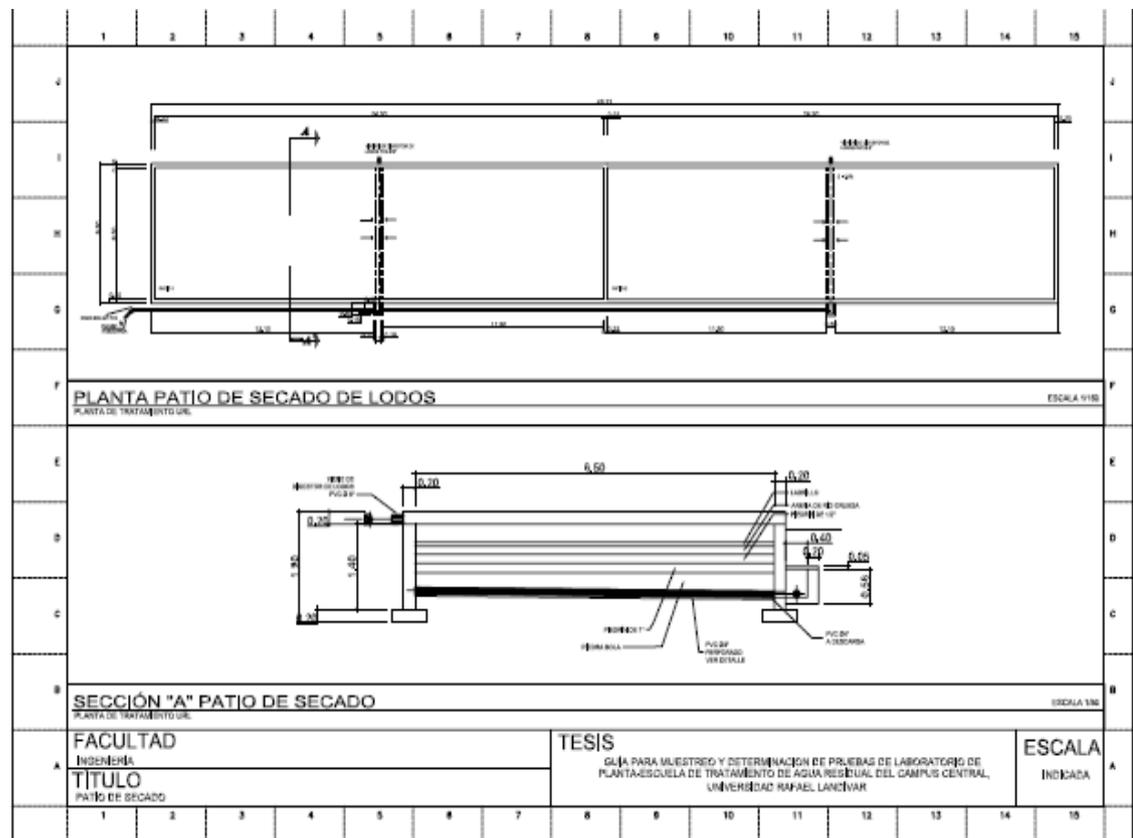
Filtro Percolador



# Sedimentador Secundario



# Digestor de Lodos



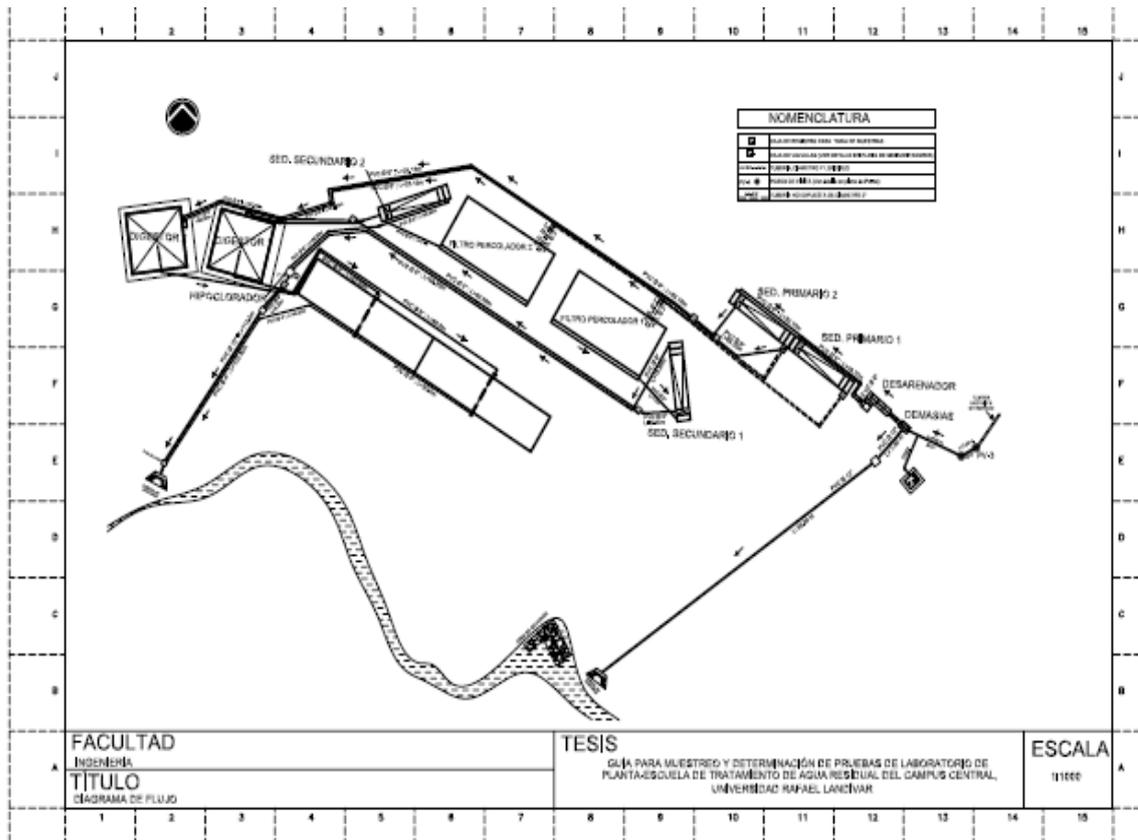
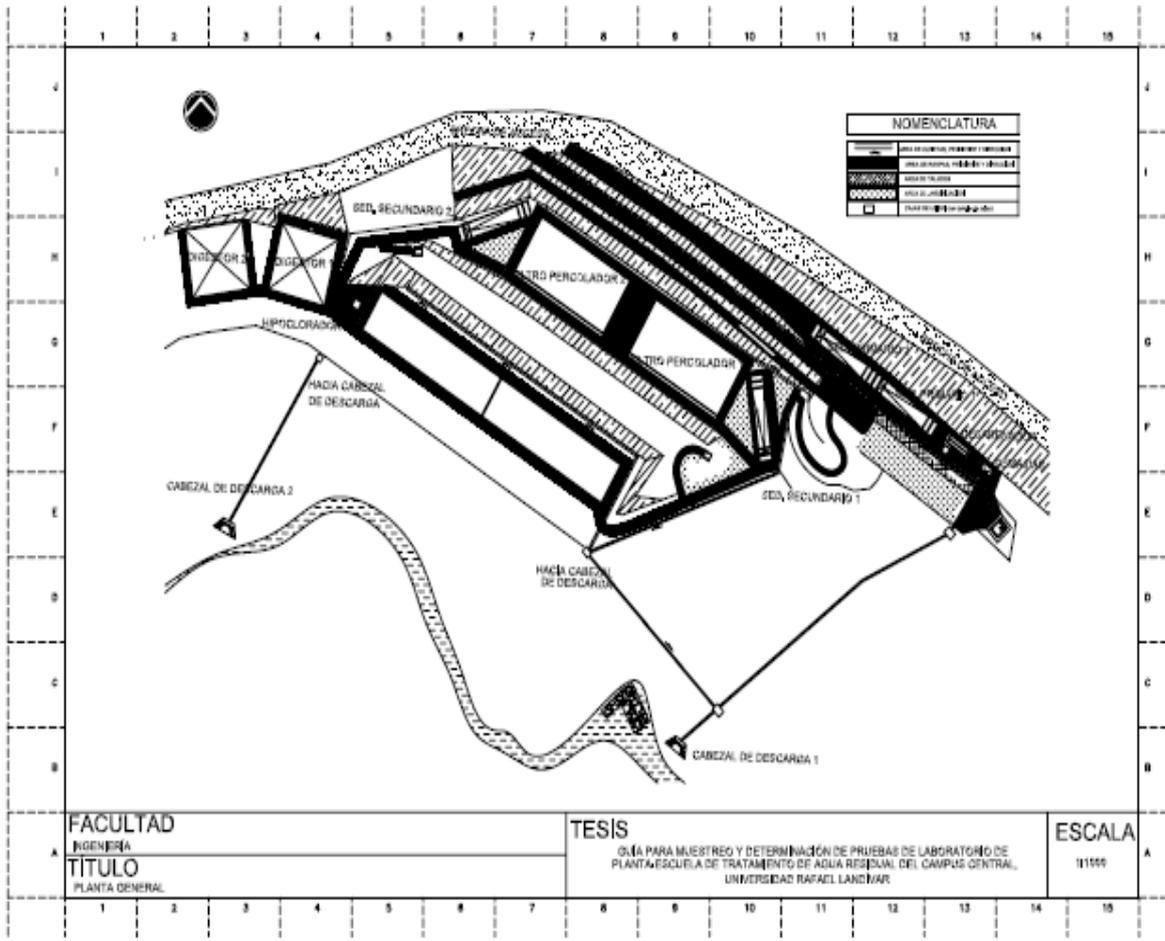


Diagrama de Flujos



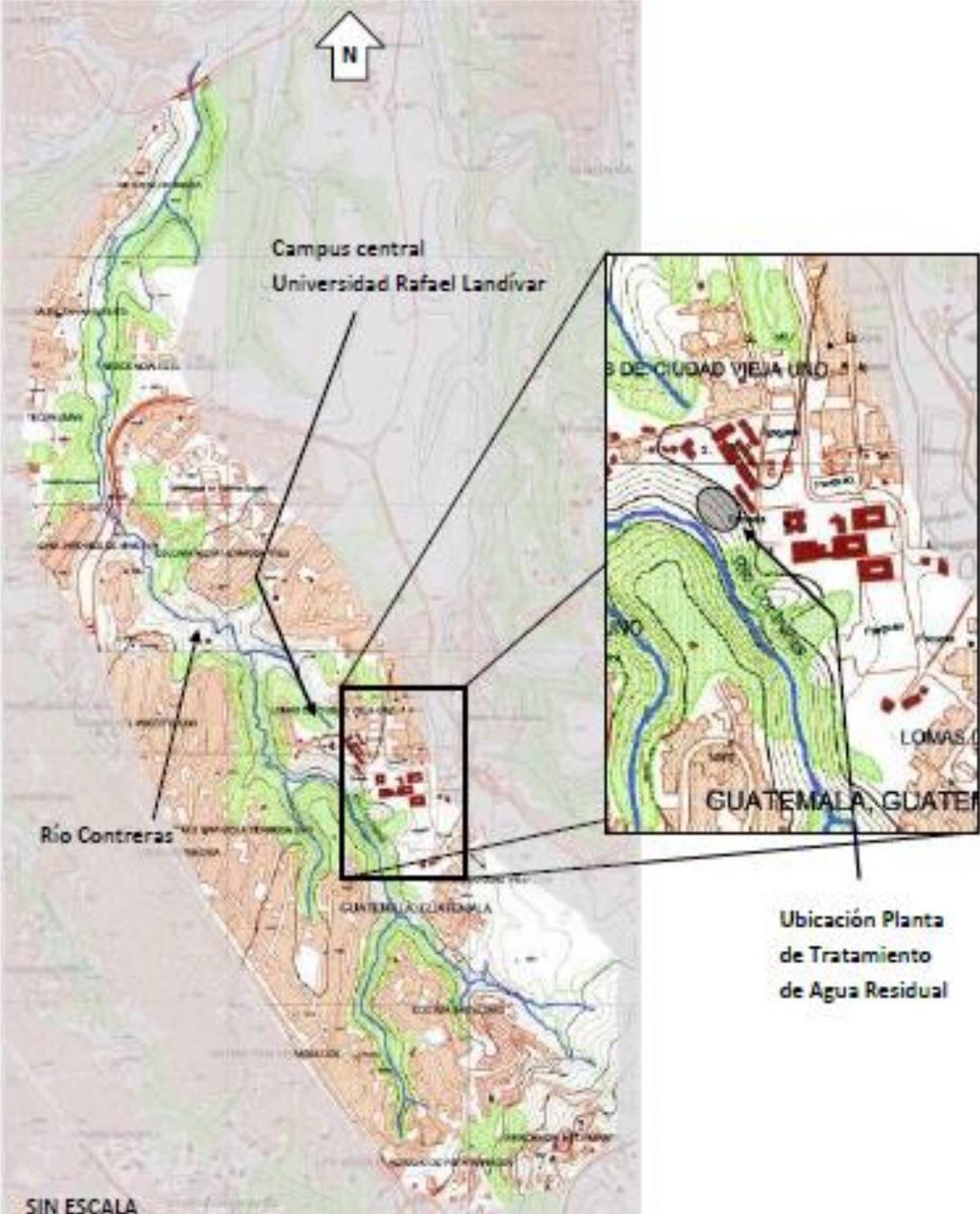
FACULTAD  
INGENIERIA  
TITULO  
PLANTA GENERAL

TESIS  
GUÍA PARA MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO DE  
PLANTA ESCUELA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS CENTRAL,  
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

ESCALA  
1:1500

Plano General

**ANEXO 3. MAPAS UBICACIÓN URL, CC**



Ubicación del campus de la Universidad Rafael Landívar y ubicación de PTAR dentro del campus.  
Fuente maos: IGN (2005).

## ANEXO 4. GLOSARIO

- **Demanda Biológica de Oxígeno a los cinco días (DBO<sub>5</sub>):**

Es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia biodegradable presente en el agua. (Rojas, 1999).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico. (Rojas, 1999).

- **Sólidos Sedimentables (SS):**

La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentaran, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de 1 litro de volumen y registrando el volumen de material sedimentado en el cono, al cabo de una hora, en mL/L (Rojas, 1999).

La determinación de sólidos sedimentables es básica para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia (Rojas, 1999).

- **Nitrógeno Total (NT):**

El nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amonio, nitritos y nitratos. (Rojas, 1999).

- **Fosforo Total (PT):**

El fosforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos en su mayoría, polifosfatos y fosforo orgánico. (Rojas, 1999).

- **Afluente:**

El agua captada por un ente generador. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Aguas Residuales:**

Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Aguas residuales de tipo ordinario:**

Las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Caracterización de la muestra:**

La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reusó o lodos. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Caracterización de un efluente o un afluente:**

La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Entes Generadores:**

La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Muestra Simple:**

La muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reusó o lodos en el momento de la toma. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Monitoreo:**

El sistema que recopila y analiza un conjunto de muestras con una frecuencia de tiempo determinado para vigilar y detectar cambios en el recurso hídrico. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).

- **Tratamiento de aguas residuales:**

Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales. (Acuerdo Gubernativo, 236-2006).