



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

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL  
LANDÍVAR PARA EL REÚSO EN RIEGO DEL AGUA TRATADA COMO  
TRATAMIENTO TERCIARIO PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES**

**Clara María Recinos Arenas**

**Edgar Rafael Lemus Espinoza**

Asesorado por el M. Sc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR PARA EL REÚSO EN RIEGO DEL AGUA TRATADA COMO TRATAMIENTO TERCARIO PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES**

ESTUDIO ESPECIAL

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

**CLARA MARÍA RECINOS ARENAS**

**EDGAR RAFAEL LEMUS ESPINOZA**

ASESORADO POR EL MSC. ING. JORAM MATÍAS GIL LAROJ

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRÍA (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS DE  
INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

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

EXAMINADOR	MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentamos a su consideración nuestro trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR PARA EL REÚSO EN RIEGO DEL AGUA TRATADA COMO TRATAMIENTO TERCIARIO PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES**

Tema que nos fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), en agosto de 2013

**Inga. Clara María Recinos Arenas**

Núm. carné: 100023565  
clara.mara@gmail.com

**Ing. Edgar Rafael Lemus Espinoza**

Núm. carné: 100021834  
edgarlemus55@yahoo.es

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis papás**

Marco Recinos y Clara Arenas, por el apoyo constante que he recibido de ellos a lo largo de toda mi vida. Por motivarme a aprender y a esforzarme en lograr mis metas.

### **Mi esposo**

Ángel Orellana, por inspirarme, apoyarme, animarme y motivarme.

### **Mis hermanas**

Isa y Luisa Recinos, por las risas, el cariño y los empujones.

**Clara María Recinos Arenas**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la guía y mi fortaleza para emprender cualquier reto.
<b>Mis padres</b>	Edgar Lemus y Patricia Espinoza, por su apoyo incondicional y cariño.
<b>Mis abuelos</b>	Carlos Espinoza y María Dolores Espinoza, por haber sido un ejemplo en mi vida.
<b>Mi hermana</b>	Karla Lemus, quien con su ejemplo siempre me ha motivado a ser cada día mejor.

**Edgar Rafael Lemus Espinoza**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad Rafael Landívar**

Por permitirnos investigar y evaluar su PTAR, y por dejarnos ser parte del plan de sustentabilidad del campus central

**Ing. Edgar Lemus**

Por formar un buen equipo de trabajo para desarrollar esta investigación.

**Asesor**

Ing. Joram Gil, por su guía y apoyo en obtener los mejores resultados de este trabajo

**ERIS**

Ing. Adán Pocasangre e Ing. Félix Aguilar, por sus sugerencias en el desarrollo de este trabajo.

**Clara María Recinos Arenas**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad Rafael  
Landívar**

Por apoyarnos para la realización de este estudio.

**Ing. Clara Recinos**

Por formar un buen equipo de trabajo para desarrollar esta investigación.

**Ing. Joram Gil**

Por su apoyo y aportes técnicos para el desarrollo de este trabajo.

**Ing. Adán Pocasangre**

Por su apoyo y motivación constante

**Ing. Félix Aguilar**

Por sus aportes técnicos al desarrollo de este trabajo

**Ing. Zenón Much**

Por su apoyo en el desarrollo de las pruebas de laboratorio.

**Lic. Pablo Mayorga**

Por su apoyo técnico para realizar pruebas de laboratorio y por compartir sus conocimientos con nosotros.

**Edgar Rafael Lemus Espinoza**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
JUSTIFICACIÓN.....	XXIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXXI
ÁRBOL DE PROBLEMAS .....	XXXIII
LIMITACIONES.....	XXXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Programa campus sustentable – Universidad Rafael Landívar.....	1
1.2. Clasificación de las aguas residuales.....	3
1.3. Parámetros de calidad del agua residual .....	4
1.3.1. Características físicas.....	4
1.3.2. Características químicas .....	4
1.3.3. Características microbiológicas .....	5
1.4. Tratamientos de aguas residuales por medios biológicos .....	5
1.4.1. Pretratamiento .....	6
1.4.2. Tratamiento primario.....	6
1.4.3. Tratamiento secundario .....	6

1.4.4.	Tratamiento terciario .....	7
1.5.	Muestreo .....	7
1.5.1.	Técnicas de muestreo .....	8
1.6.	Normativas vigentes en Guatemala relacionadas al tratamiento de aguas residuales .....	9
1.7.	Reúso del agua tratada .....	11
1.7.1.	Calidad del agua tratada para el reúso en riego.....	11
1.7.2.	Relación de absorción de sodio (RAS).....	12
1.8.	Técnicas de riego.....	13
1.8.1.	Riego por aspersión .....	13
1.8.2.	Riego por goteo.....	14
1.9.	Ecotoxicología.....	16
1.9.1.	Phytotoxkit.....	16
2.	METODOLOGÍA .....	17
2.1.	Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual.....	17
2.1.1.	Selección de parámetros de análisis .....	17
2.1.2.	Puntos de muestreo .....	19
2.1.3.	Medición del caudal y determinación de tiempos de residencia .....	21
2.2.	Evaluación de la calidad del efluente de la PTAR para establecer la posibilidad del reúso en riego. ....	21
2.2.1.	Selección de parámetros de análisis.....	21
2.2.2.	Puntos de muestreo .....	23
2.2.3.	Análisis fitotoxicológico .....	23
2.3.	Evaluación de la eficiencia en la remoción de nutrientes al reutilizar el agua tratada para riego.....	28
2.3.1.	Selección de parámetros de análisis .....	29

2.3.2.	Puntos de muestreo.....	29
2.4.	Análisis estadístico para establecer la cantidad de muestras..	31
2.5.	Selección del tipo de muestra.....	35
2.6.	Análisis beneficio costo .....	35
3.	LÍNEA BASE DEL ESTUDIO.....	37
3.1.	Consumo de agua .....	37
3.2.	Uso del suelo en el campus central de la URL .....	39
3.3.	Estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	41
3.3.1.	Pretratamiento: canal de demasías .....	41
3.3.2.	Pretratamiento: canal de rejas .....	43
3.3.3.	Pretratamiento: desarenador .....	44
3.3.4.	Tratamiento primario: sedimentador primario .....	45
3.3.5.	Tratamiento secundario: filtro percolador. ....	46
3.3.6.	Tratamiento secundario: sedimentador secundario .....	47
3.3.7.	Tratamiento terciario: desinfección .....	48
3.4.	Curva de caudal mínimo en el año .....	49
3.5.	Análisis organoléptico.....	52
3.6.	Calidad del agua de la PTAR .....	54
3.6.1.	Medición de caudal realizado por la URL .....	54
3.6.2.	Demanda química y bioquímica de oxígeno .....	56
3.6.3.	Nutrientes .....	60
3.6.4.	Metales pasados.....	63
4.	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	65
4.1.	Eficiencia de la PTAR .....	68
4.1.1.	Caudal .....	69

4.1.2.	Calidad del agua .....	71
4.1.3.	Eficiencia del sistema de tratamiento .....	81
4.2.	Calidad del efluente para su reúso en riego.....	85
4.2.1.	Análisis fitotoxicológico .....	85
4.2.2.	Análisis RAS.....	89
4.3.	Eficiencia en la remoción de nutrientes al utilizar el agua tratada para riego.....	91
4.4.	Prediseño del sistema de riego por aspersión para las instalaciones de la URL.....	97
4.4.1.	Diseño agronómico .....	97
4.4.2.	Características de operación del sistema.....	104
4.4.3.	Sistema de bombeo .....	107
4.4.4.	Cálculo de la relación beneficio costo (B/C).....	116
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	119
5.1.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales....	119
5.2.	Calidad del efluente del sedimentador secundario para reúso en riego .....	129
5.3.	Eficiencia del riego en la remoción de nutrientes .....	137
5.4.	Análisis beneficio costo .....	138
CONCLUSIONES.....		141
RECOMENDACIONES .....		145
BIBLIOGRAFÍA.....		149
APÉNDICES.....		151
ANEXOS.....		161

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Árbol de problemas .....	XXXIII
2.	Esquema de puntos de muestreo .....	20
3.	Placas de ensayo .....	24
4.	Plantación de semillas.....	25
5.	Incubación de semillas .....	26
6.	Toma de imagen digital .....	27
7.	Medición de las raíces.....	28
8.	Esquema de riego en parcelas experimentales .....	30
9.	Esquema de la parcela experimental. ....	31
10.	Número aproximado de muestras requeridas para estimar la concentración promedio en cuerpos de agua .....	33
11.	Consumo de agua en campus central de la URL.....	39
12.	Uso del suelo en el campus central de la URL.....	40
13.	Realización del aforo.....	49
14.	Descarga de agua tratada en el campus central de la URL. ....	51
15.	Medición de caudal que ingresa a la PTAR .....	55
16.	Eficiencia en remoción de DBO <sub>5</sub> y DQO .....	58
17.	Eficiencia en la remoción de DBO <sub>5</sub> y DQO, curva de frecuencia acumulada.....	59
18.	Eficiencia en la remoción de nutrientes.....	61
19.	Eficiencia en la remoción de nutrientes, curva de frecuencia acumulada.....	62
20.	Simbología utilizada en calendarios de muestreo .....	66

21.	Calendarios de muestreos.....	66
22.	Caudal de ingreso a la PTAR .....	70
23.	Resultados obtenidos de DQO .....	77
24.	Resultados obtenidos de DBO <sub>5</sub> .....	78
25.	Resultados obtenidos de nitrógeno total.....	79
26.	Resultados obtenidos de fósforo total.....	80
27.	Eficiencia en la remoción de nitrógeno total .....	95
28.	Eficiencia en la remoción de fosforo total .....	96
29.	Distribución de áreas de riego dentro del campus central de la URL ...	98
30.	Área de influencia de los aspersores .....	105
31.	Distribución de aspersores .....	106
32.	Perfil de ubicación de las estaciones de bombeo .....	109
33.	Estación de bombeo 1, vista en elevación.....	111
34.	Estación de bombeo 1, vista en planta .....	112
35.	Estación de bombeo 2, vista en elevación.....	114
36.	Estación de bombeo 2, vista en planta .....	115
37.	Eficiencia global del sistema de tratamiento en remoción de DBO <sub>5</sub> ...	123
38.	Gráfica de relación RAS y conductividad eléctrica.....	132

## **TABLAS**

I.	Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 20. ....	10
II.	Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 35 .....	11
III.	Ventajas y desventajas del riego por aspersión.....	14
IV.	Ventajas y desventajas del riego por goteo .....	15
V.	Parámetros a evaluar para establecer la eficiencia de la PTAR .....	18
VI.	Parámetros a evaluar para establecer la calidad del efluente para uso en riego. ....	22

VII.	Parámetros a evaluar para establecer la eficiencia en la remoción de nutrientes .....	29
VIII.	Datos del manual de procedimientos .....	34
IX.	Datos de consumos de agua.....	38
X.	Diagnóstico del canal de demasías.....	42
XI.	Diagnóstico del canal de rejillas .....	43
XII.	Diagnóstico del desarenador.....	44
XIII.	Diagnóstico del sedimentador primario .....	45
XIV.	Diagnóstico del filtro percolador .....	46
XV.	Diagnóstico del sedimentador secundario.....	47
XVI.	Diagnóstico de la desinfección .....	48
XVII.	Resultado del aforo a la salida de la PTAR (3/12/2013) .....	50
XVIII.	Resultados obtenidos del aforo .....	52
XIX.	Análisis organoléptico .....	53
XX.	Caudales de ingreso y caudales esperados.....	56
XXI.	Eficiencias del sistema .....	57
XXII.	Eficiencia del sistema para remoción de nutrientes .....	60
XXIII.	Mediciones de metales pesados .....	63
XXIV.	Mediciones de caudal.....	69
XXV.	Parámetros hidráulicos de trabajo de sedimentador y filtro percolador .....	71
XXVI.	Puntos de muestreo .....	72
XXVII.	Resultados obtenidos de los análisis de laboratorio .....	72
XXVIII.	Eficiencias del sistema de tratamiento .....	81
XXIX.	Crecimiento de la semilla <i>Lepidium sativum</i> .....	86
XXX.	Crecimiento de la semilla <i>Sinapsis alba</i> .....	87
XXXI.	Crecimiento de la semilla <i>Sorghum saccharatum</i> .....	88
XXXII.	Porcentajes de inhibición de crecimiento .....	89
XXXIII.	Resultados obtenidos de la medición de calcio, magnesio y sodio.....	90

XXXIV.	Resultados obtenidos a la salida del sedimentador .....	92
XXXV.	Resultados obtenidos a la salida de la parcela experimental con flores.....	92
XXXVI.	Resultados obtenidos a la salida de la parcela experimental con grama.....	93
XXXVII.	Resultados obtenidos a la salida de la parcela experimental con tierra negra.....	93
XXXVIII.	Eficiencia en la remoción de nutrientes en cada parcela experimental.....	94
XXXIX.	Resumen de los resultados obtenidos para el diseño de riego.....	103
XL.	Características del aspersor .....	104
XLI.	Diámetros de tuberías.....	108
XLII.	Pérdidas totales de carga .....	108
XLIII.	Resumen de los resultados obtenidos para perdidas de presión .....	109
XLIV.	Dimensionamiento de estación de bombeo 1 .....	110
XLV.	Dimensionamiento de estación de bombeo 2 .....	113
XLVI.	Análisis de beneficios del sistema en valor presente.....	117
XLVII.	Análisis de costo del sistema en valor presente .....	117
XLVIII.	Análisis de beneficios del sistema en valor anual.....	118
XLIX.	Análisis de costos del sistema en valor anual.....	118
L.	Comparación con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 descarga a un cuerpo receptor.....	120
LI.	Caudales de diseño y caudales actuales.....	121
LII.	Análisis de mantenimiento del desarenador .....	125
LIII.	Análisis de mantenimiento del sedimentador primario.....	126
LIV.	Análisis de mantenimiento del filtro percolador.....	127
LV.	Análisis de mantenimiento del sedimentador secundario .....	128
LVI.	Análisis de mantenimiento del sistema de desinfección .....	128
LVII.	Clasificación en relación a la conductividad.....	131

LVIII.	Clasificación en relación del parámetro RAS .....	131
LIX.	Parámetros de control .....	133
LX.	Período de sobrevivencia de agentes patógenos excretados en el suelo y las superficies de los cultivos a temperatura de 20 – 30 °C...	135



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°C	Grados centígrados
Kg	Kilogramo
Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /d	Kilogramos de DBO <sub>5</sub> por metro cúbico por día
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
µS/cm	Micro siemens por centímetro
mg/l	Miligramos por litro
NMP/100ml	Número más probable en 100 mililitros
U. Pt-Cb	Unidades de platino cobalto
UNT	Unidad nefelométrica de turbidez



## **GLOSARIO**

<b>ARICNECO</b>	Asociación para la Recuperación Integral de la Microcuenca del río Negro y río Contreras.
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.
<b>IARNA</b>	Instituto Técnico de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
<b>PTAR</b>	Planta de Tratamiento de Agua Residual.
<b>URL</b>	Universidad Rafael Landívar.
<b>USAC</b>	Universidad de San Carlos de Guatemala.



## RESUMEN

El presente estudio evaluó el reúso de las aguas tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar, como un tratamiento terciario para la remoción de nutrientes.

El estudio se centró en dos ejes principales de trabajo. El primero, relacionado con la evaluación de la eficiencia de los componentes del sistema de tratamiento actual, es decir, del sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario. El segundo, referente a establecer si la calidad del agua que descarga la planta es apta para su uso en riego mediante la comparación de parámetros de calidad, un análisis RAS y un análisis fitotoxicológico con un Phytotoxkit. Además, se estableció la eficiencia que se obtiene en la remoción de nutrientes al hacer pasar el efluente de la PTAR por el área radicular de la grama y de las flores chatías.

Los resultados obtenidos muestran un funcionamiento deficiente del sistema de tratamiento debido a procedimientos incorrectos de mantenimiento, algunos problemas de infraestructura y al poco y heterogéneo caudal que recibe la planta. El efluente de la planta, por lo tanto, no es de la calidad adecuada para el riego de jardines, pues, a pesar que no causará problemas a las plantas, podría causarlos al suelo y se tendrán peligros potenciales a la salud de los estudiantes que circulen por los jardines, además de problemas de taponamiento en los sistemas de riego por aspersión. Si se mejora la operación de la planta, se podrá mejorar la calidad del efluente al grado que se pueda reutilizar para riego sin riesgos a la salud ni problemas operativos.

La remoción de nitrógeno y fósforo por la grama se dio de manera similar con un 79 % y 78 % respectivamente. Las flores, sin embargo, presentaron un 38 % y 77 % respectivamente. A continuación se presenta el informe completo de la investigación en donde se detallan los procesos por medio de los cuales se llegaron a las conclusiones mencionadas.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Reusar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar en riego de jardines, con la finalidad de evaluarlo como tratamiento terciario para la remoción de nutrientes.

### **Específicos**

1. Evaluar la eficiencia actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar
2. Establecer la calidad del efluente de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar para su reúso en el riego del campus central mediante un análisis de fitotoxicidad y un análisis RAS
3. Determinar la eficiencia en la remoción de fósforo y nitrógeno al reusar el agua tratada para el riego en grama y chatías
4. Realizar un análisis beneficio-costos en relación al reúso del agua residual tratada para el riego de los jardines del campus central de la Universidad.



## **HIPÓTESIS**

El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar es apto para su uso en riego, este será un tratamiento terciario que tendrá una eficiencia en la remoción de nitrógeno y fósforo del 50 % y reducirá la extracción de agua de pozo en un 40 % en época de verano.



## INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad es un concepto que no se puede pasar por alto pues es clave para instaurar un manejo de cuencas exitoso. El reúso de las aguas residuales en riego es una forma de reciclaje del agua que se ha utilizado ya varias décadas atrás. Tiene la característica de disminuir el consumo de agua potable utilizada en riego y, a la vez, suplir de nutrientes a la vegetación que recibe las aguas.

Debido a que la mayoría de los sistemas tradicionales para el tratamiento de aguas residuales no remueven nutrientes, y si lo hacen es en una eficiencia muy baja, es evidente que el reúso del agua residual tratada en riego de vegetación tendrá algún efecto en reducir los nutrientes presentes en el agua, pues al transcurrir por el área radicular de las plantas estas tienden a absorber los nutrientes para desarrollarse. Es, entonces, este efecto el que se analizó en el presente trabajo de investigación, pues se estimó la eficiencia en la remoción de nitrógeno y fósforo totales presentes en el agua, al utilizarse en el riego de grama San Martín y flores chatía, ambas ampliamente utilizadas en los jardines del campus central de la Universidad Rafael Landívar.

Para realizar dicho análisis fue necesaria la evaluación de la eficiencia actual del sistema de tratamiento de aguas residuales del campus, así como establecer la calidad del agua que actualmente se descarga al río Contreras. Estos dos puntos de la investigación son la base para establecer si la calidad del agua es apta o no para utilizarla en el riego de jardines. Una vez establecida la factibilidad técnica de utilizar el agua tratada para el riego de los jardines, se realizaron las pruebas pertinentes para establecer la remoción de

nutrientes en el riego. Por último, se efectuó un análisis beneficio-costos, en el que se evaluó la factibilidad económica de la reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

## ANTECEDENTES

La Universidad Rafael Landívar cuenta con una extensa área verde de aproximadamente 5 hectáreas que requiere de un riego constante en época de verano, sin contar las áreas boscosas ni las áreas de pasto ubicadas entre las áreas boscosas. En el campus, el agua es obtenida por medio de pozos propios, lo que conlleva un alto costo de energía eléctrica y un impacto negativo a los mantos freáticos de los que se realiza la extracción. El agua obtenida de los pozos abastece tanto al sistema de riego del campus central, como al sistema de abastecimiento de agua potable. Este último distribuye el agua a los distintos servicios sanitarios, cocinas y laboratorios de la Universidad, produciendo efluentes contaminados que se descargan hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

La planta de tratamiento es un sistema biológico que, por medio de la actividad microbiana, degrada los contaminantes presentes en el agua residual para obtener un efluente de mejor calidad, dicho efluente es descargado al río Contreras.

La microcuenca del río Contreras es parte de la cuenca hidrográfica del Motagua. Actualmente, al igual que la URL, existen varios entes generadores ubicados en las zonas 10 y 15 de la ciudad capital que descargan sus aguas residuales y pluviales al río, provocando un impacto en su cauce. El impacto a la microcuenca ha sido tal que los vecinos del sector han fundado la Asociación para la Recuperación Integral de Microcuencas Río Negro y Río Contreras (ARICNECO). Esta asociación tiene como objetivo "gestionar e impulsar procesos de desarrollo ambiental y del uso del recurso hídrico más

innovadores, sustentables y socialmente responsables para mejorar las condiciones ambientales de ambas cuencas”<sup>1</sup> pues buscan lograr una gestión integral del recurso en dichas microcuencas.

Parte del manejo integral de los recursos hidráulicos implica la reducción del consumo del agua y su reutilización, es por ello que en el presente estudio se analizó la posibilidad del reúso del agua tratada en el riego de las áreas verdes.

A continuación, se presenta un listado de los trabajos que se han realizado en ERIS previo a este estudio, relacionados con el reúso del agua tratada en el riego:

- Canastuj Coyoy, Mario Margarito. *Estudio del aprovechamiento del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala para riego de pastos de corte en la finca de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia*. 1999.
- Calderón Rivera, Vicente José. *Reúso de aguas residuales sedimentadas para el riego y la producción de plántulas de Pinus oocarpa schiede en la etapa de vivero*. 2011.
- Cardona Castillo, Hugo. *Uso de lodos para fertilización en cultivos de granos básicos*. 1984.
- Cruz González, René. *Riego con aguas negras pretratadas en el cultivo de soya*. 1989.

---

<sup>1</sup> Información proporcionada por ARICNECO

- García Chaclán, Alma Maritza. *Estudio de la calidad de agua de tres efluentes provenientes de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales "Ing. Arturo Pozos Sosa" para su reutilización en el riego de cultivo de pepino Cucumis sativus L.* 2006.
- Morales Cayax, Miguel Ángel. *Determinación de parámetros de aplicación del agua por el equipo de riego a presión del centro experimental docente de agronomía.* Facultad de agronomía, USAC. 2002.
- Moscoso Celada, Francis Ernesto. *Evaluación del crecimiento y desarrollo de tres especies de bambú, regadas con agua del sedimentador primario en la planta de tratamiento de aguas residuales Aurora II, zona 13, Ciudad de Guatemala.* 2011.
- Pérez Escobar, Alexandro Valmore. *Utilización de aguas negras con fines de irrigación y su aplicación en la planta experimental ERIS. (Hidráulica).* 1988.
- Pérez Solares, Ana Elizabeth. *Utilización con fines de riego del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad Universitaria, USAC.* 2012.
- Ruano, René. *Determinación del período apropiado de corte del pasto napier (Penisetum purpureum) después del riego por aspersion con agua residual sedimentada, en la planta de tratamiento Aurora II, para reducir la contaminación bacteriológica foliar y propiciar buenas características agronómicas.* 2005.

- Turcios Pantaleón, Ariel Eliseo. *Evaluación de la calidad de las aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento Aurora II con fines de riego en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. 2011.

La mayoría de los trabajos anteriores abordan el tema del reúso de aguas residuales con algún grado de tratamiento en el riego de distintos cultivos y lo evalúan con base en la diferencia de crecimiento o desarrollo de las plantas, al compararlo con otros ejemplares regados con agua potable.

En la Universidad Rafael Landívar se han realizado los siguientes estudios:

- Estudiantes Facultad de Ingeniería. *Reúso 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*. 2009.
- IARNA. *Programa ambiental del campus central de la Universidad Rafael Landívar*. 2009.
- Recinos Arenas, Clara María. Barrios Arriola, Mario Alberto. *Guía para el muestreo y determinación de pruebas de laboratorio de planta-escuela de tratamiento de aguas residuales del campus central, Universidad Rafael Landívar*. 2010.

El primer estudio trata de los objetivos que se plantea la Universidad para convertirse en un campus sustentable en los distintos ejes de acción, incluida el agua. El segundo es un ensayo por medio del cual se expresa cualitativamente

el beneficio al regar con agua tratada. El tercer estudio es una guía para que los estudiantes realicen pruebas en la planta de tratamiento.



## JUSTIFICACIÓN

El concepto de sustentabilidad implica reducir el impacto ambiental que una actividad específica ocasiona. Tomando esto como base, la Universidad Rafael Landívar, con su programa ambiental, busca administrar de manera sostenible los bienes y servicios naturales que en ella se encuentran. Al realizar dicho programa se establecieron acciones concretas en 4 ejes principales: gestión eficiente del agua, gestión eficiente de la energía, gestión eficiente de la atmósfera y gestión eficiente de la vegetación y los espacios verdes. Específicamente en el tema de agua, se trazaron 4 objetivos principales que son reducir el consumo de agua, mejorar el tratamiento de las aguas residuales, identificar y minimizar las fuentes de contaminación y fomentar hábitos para el uso eficiente del agua.

Actualmente, la descarga de las aguas residuales del campus central está ocasionando un impacto en la calidad del agua del río Contreras, al que es vertida. La magnitud del impacto se vio disminuida hace 5 años, pues, al iniciar operaciones la planta de tratamiento de aguas residuales, la calidad del agua vertida mejoró. Sin embargo, el agua que actualmente se descarga aún presenta cierto grado de contaminación que la planta de tratamiento no es capaz de remover. Además, el agua vertida se encuentra clorada, dando lugar a la posible formación de trihalometanos al entrar en contacto con la materia orgánica, elementos que son considerados como potencialmente cancerígenos.

La importancia del presente estudio se basa en disminuir el impacto negativo que la Universidad genera sobre el río Contreras, al evaluar el posible uso del efluente de la PTAR para el riego de los jardines del campus. Con este

reúso, además de evitar la contaminación del río, se disminuirá el volumen de agua que se extrae diariamente del pozo, pues ya no será utilizada para el riego de jardines. También se promoverá el cumplimiento de los primeros dos objetivos que se establecieron en el eje de agua del programa ambiental de la URL, siendo estos la reducción en el consumo de agua y la mejora del tratamiento de las aguas residuales.

Además, el presente estudio evaluó el reúso en riego de las aguas tratadas por la PTAR, como un tratamiento terciario que removerá los nutrientes que el sistema de tratamiento actual no es capaz de remover. Esta evaluación dará las primeras luces sobre la mejora de la calidad del agua reutilizada para riego después de pasar por el área radicular de las plantas y promoverá el cierre del ciclo del agua que el ser humano altera al utilizarla.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al río Contreras se vierten grandes cantidades de aguas residuales proveniente de diversos entes generadores, entre ellos la URL, que producen un impacto desfavorable a su microcuenca. Esta realidad impulsa a ARICNECO – Asociación para la Recuperación Integral de Microcuencas Río Negro y Río Conteras - a iniciar su lucha por regular la calidad de los efluentes al río y promover el reúso del agua mediante la concientización ecológica en las instituciones y ciudadanía.

La URL cuenta con una extensión territorial de 33,82 hectáreas en las que se desarrollan sus actividades cotidianas. Según información del IARNA<sup>2</sup>, el 17 % de dicha extensión es área verde que requiere un riego periódico en época de verano y que, por ende, consume una gran cantidad de agua durante esos meses. Para abastecer dicha demanda, la URL extrae y consume importantes cantidades de agua de los pozos. Según las mediciones del caudal extraído del pozo en la URL, entre el 38 y el 52 % del agua extraída en época seca es utilizado para riego, mientras que el resto es utilizado por el ser humano para desarrollar sus actividades cotidianas, recibe un tratamiento y finalmente es descargada al río Contreras.

Este manejo del recurso tiene dos problemas principales: la sobreexplotación del manto freático y la contaminación del río Contreras, pues la planta de tratamiento no es capaz de remover la totalidad de los contaminantes presentes en el agua. Durante el tiempo del monitoreo (marzo-

---

<sup>2</sup> Instituto Técnico de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.

mayo 2014) el sistema tuvo una eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> de 42,5 % con un promedio de descarga de 162 mg/l.

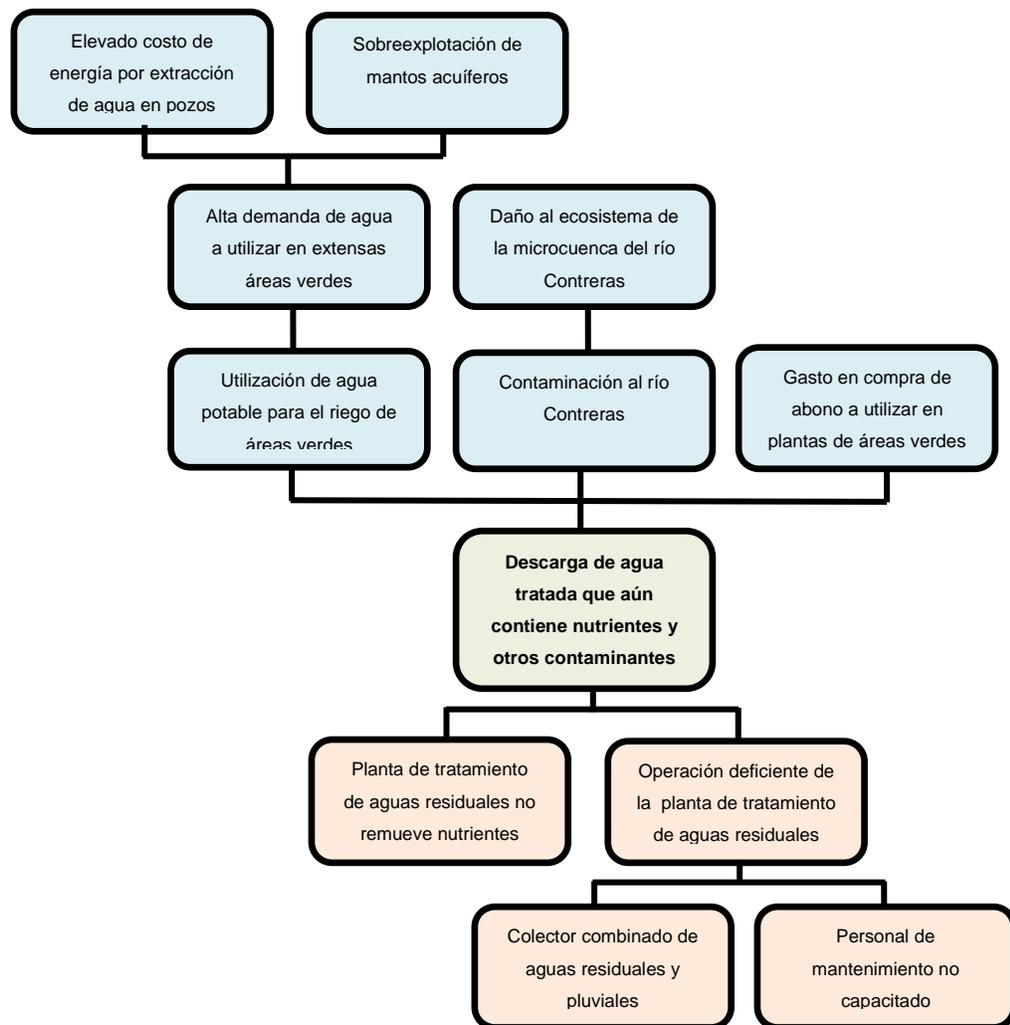
El agua residual que se genera en el campus central de la Universidad Rafael Landívar es tratada por una planta de tratamiento de aguas residuales que opera mediante principios biológicos. Cuenta con pretratamiento para remoción de sólidos de gran tamaño, arenas y grasas; tratamiento primario consistente en un sedimentador; tratamiento secundario consistente en filtro percolador y sedimentador; y tratamiento terciario para la eliminación de microorganismos por medio de la cloración. Además, la planta cuenta con un biodigestor de lodos para la degradación de los lodos producidos en los sedimentadores y un patio de secado para la deshidratación de los mismos.

Ninguno de los tratamientos existentes tiene una alta eficiencia para la remoción de nutrientes, en promedio 30 % para el nitrógeno y 5 % para el fósforo, por lo que el impacto de la descarga sigue siendo negativo para el río Contreras. Dado que los nutrientes son vitales para el crecimiento vegetal cabe preguntarse: ¿el riego de jardines con agua tratada puede ser una alternativa eficiente para la remoción de fósforo y nitrógeno?, ¿la planta de tratamiento de aguas residuales existente se encuentra funcionando adecuadamente?, ¿la calidad del efluente de la PTAR es apta para su reúso en riego?, ¿la relación beneficio-costos del reúso del agua tratada en riego en el campus central de la Universidad Rafael Landívar será positiva?

# ÁRBOL DE PROBLEMAS

A continuación se presenta el árbol de problemas que se identificó.

Figura 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.



## LIMITACIONES

El presente estudio tuvo las siguientes limitaciones:

- Se utilizó la grama San Agustín y la flor chatía que siembran en el campus central de la URL.
- Se usó la misma tierra negra que se utiliza en jardinería del campus central de la URL.
- Se realizó un único análisis fitotoxicológico como parámetro complementario.
- Se realizó un único análisis RAS como parámetro complementario.
- El estudio se desarrolló en los meses de marzo a mayo de 2014.
- El estudio se realizó con la calidad del agua que actualmente descarga el sedimentador secundario de la PTAR, aunque los resultados de la evaluación de la eficiencia actual no son los idóneos.
- El análisis beneficio-costos se realizó con base en los registros históricos sobre los costos de mantenimiento, el volumen de extracción de agua del pozo proporcionados por la Universidad Rafael Landívar y el cálculo de la demanda de riego considerando las características globales del sector.

- Para establecer el monto aproximado de inversión para reutilizar el agua en el riego de los jardines, se realizó un levantamiento aproximado con ayuda de un GPS y un modelo de elevación digital, para establecer las alturas y distancias a superar con el sistema de bombeo y de riego. El monto se estimó con base en índices constructivos del mercado.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Programa campus sustentable – Universidad Rafael Landívar

La Universidad Rafael Landívar, mediante su programa de campus sustentable expone su firme propósito de contribuir a forjar relaciones más armónicas entre la sociedad y la naturaleza, para lo cual impulsa acciones a diferentes niveles y escalas.

Apegada a este propósito y con la determinación de predicar con el ejemplo, la Universidad, a través del departamento de Responsabilidad Social Universitaria de la Vicerrectoría de Integración Universitaria y con el acompañamiento técnico del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), impulsa la iniciativa denominada campus sustentable, cuyo propósito central es impulsar gradualmente un modelo de gestión socioambiental que garantice mejores niveles de convivencia entre la comunidad universitaria y el entorno natural del campus central, sedes y campus regionales.

El programa define 6 proyectos como los ejes centrales de trabajo:

- Gestión eficiente del agua: tiene como objetivo reducir el consumo de agua dentro del campus, mejorar la calidad del agua residual que se descarga, identificar y minimizar las fuentes de contaminación de agua dentro del campus y formar hábitos para el uso eficiente de agua. Cada

uno de los objetivos tiene definidas las acciones, el público, los detalles y las fechas en las que se llevarán a cabo para alcanzar el panorama ideal.

- Gestión eficiente de la energía: sus objetivos son reducir el consumo, usarla eficientemente, implementar acciones de conservación de energía, formar hábitos para su uso eficiente, y fomentar investigaciones sobre energía renovable.
- Gestión eficiente de la atmósfera: enfocada en proteger y mejorar la calidad del aire dentro del campus, evitar la contaminación visual y acústica que afecte el desenvolvimiento académico y formar hábitos para la conservación de la calidad del aire dentro del campus de la Universidad.
- Gestión eficiente de la vegetación y los espacios verdes: se organizó en 3 subproyectos que son la creación de un Arboretum landivariano, lograr la declaración legal de una reserva natural privada en la zona oeste del campus y la creación de senderos interpretativos terrestres y aéreos.
- Administración de desechos sólidos: tiene como mira reducir la cantidad de artículos que se consumen dentro del campus, reciclar, reusar, canalizar adecuadamente los residuos finales y fomentar el manejo adecuado de los mismos.
- Administración de desechos líquidos peligrosos: busca reducir la cantidad de desechos líquidos que se producen y, los que se produzcan, eliminarlos adecuadamente. Como desechos líquidos peligrosos se consideran los residuos de químicos, mercurio de termómetros,

pesticidas, soluciones para revelado de fotografía, solventes, aceites minerales y líquidos de baterías.

## **1.2. Clasificación de las aguas residuales.**

Las aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su origen y composición:

- Aguas residuales domésticas: provienen de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones públicas, se incluyen aquí las aguas utilizadas para limpieza de calles y control de incendios, además de las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al sistema de alcantarillado.
- Aguas residuales comerciales: provienen de locales comerciales como rastros, pequeñas industrias que suelen estar conectadas a un sistema común de alcantarillado.
- Aguas residuales industriales: producidas por las grandes plantas industriales de todo tipo.
- Aguas residuales agrícolas: provienen de la cría de ganado y del procesamiento de productos animales y vegetales.
- Aguas de infiltración: provienen de los sistemas de drenaje, tuberías de desagüe y del descenso artificial del nivel de las aguas subterráneas, así como de la infiltración de estas hacia el sistema de alcantarillado a través de tuberías y otras instalaciones defectuosas.

- Agua de lluvia: incluye todas las formas de precipitación (lluvia, granizo, niebla, nieve).
- Aguas superficiales: provienen de aquellos cuerpos de agua superficiales que ingresan directamente en el sistema de alcantarillado.

### **1.3. Parámetros de calidad del agua residual**

A continuación se detallan cuáles son los parámetros utilizados para medir la calidad del agua residual.

#### **1.3.1. Características físicas**

Las propiedades físicas del agua son el conjunto de características que pueden observarse sin que esta sufra ningún cambio, además, le dan características únicas que la distinguen del resto de las sustancias, entre las principales se encuentran las que tienen que relación con los sentidos tales como: color, olor, sabor, temperatura y turbiedad; también se encuentra la densidad, tensión superficial, calor específico, entre otras.

#### **1.3.2. Características químicas**

Las propiedades químicas son aquellas propiedades que describen su comportamiento durante un cambio químico. Las principales ramas del estudio de las propiedades químicas del agua residual comprende la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica y los gases presentes en el agua residual.

### **1.3.3. Características microbiológicas**

Las propiedades microbiológicas del agua son el conjunto de características asociadas a los organismos vivos que habitan en ella. Los principales grupos de organismos presentes en aguas residuales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de alguna enfermedad. Los principales organismos patógenos presentes en el agua son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, diarreas y cólera.

### **1.4. Tratamientos de aguas residuales por medios biológicos**

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones, comercios e industrias, son tratadas a través de procesos físicos, químicos y biológicos. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y, como subproducto, un residuo sólido o fango para otros propósitos o recursos. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales, para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales conlleva la separación física inicial de sólidos, seguida por la conversión progresiva de materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. 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 (terreno superficial o subsuelo). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

#### **1.4.1. Pretratamiento**

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplos de pretratamientos se encuentran el desbaste y dilaceración, para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación, para la eliminación de grasas y aceites, y el desarenador, para la eliminación de materia gruesa en suspensión que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos.

#### **1.4.2. Tratamiento primario**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación.

#### **1.4.3. Tratamiento secundario**

Está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los componentes orgánicos biodegradables.

#### **1.4.4. Tratamiento terciario**

Generalmente responde al control y la eliminación de nutrientes presentes en el agua residual y su importancia es necesaria debido a varios aspectos como: vertido a cuerpos de agua receptores confinados, en los que se pueda crear o acelerar los procesos de eutrofización; vertido a cuerpos de agua en los que la nitrificación pueda limitar los recursos de oxígeno o en los que puedan proliferar el arraigamiento de plantas acuáticas; y recargas de agua subterráneas que puedan ser usadas, indirectamente, para el abastecimiento público de agua.

Los principales nutrientes contenidos en el agua son el nitrógeno y el fósforo y su eliminación puede llevarse a cabo por procesos químicos, biológicos o una combinación de ambos. Sin embargo, el tratamiento terciario para las aguas residuales más utilizado en Guatemala es la desinfección, pues el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 exige un parámetro de descarga de coliformes fecales que no puede cumplirse sin desinfectar. Existen distintos métodos a utilizar como la cloración, rayos UV, ozono, entre otros. El más utilizado es la cloración, por ser un método más sencillo y con menor costo que los otros. Se han realizado distintas investigaciones referentes a los efectos de la cloración en el agua residual tratada y se han obtenido resultados que indican la posible formación de trihalometanos al entrar en contacto el cloro con la materia orgánica

#### **1.5. Muestreo**

El objetivo principal del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio, ya sea un cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, entre otros, para la cual se analizarán las variables físicas, químicas y

microbiológicas de interés. Para lograr el objetivo, se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

### **1.5.1. Técnicas de muestreo**

El objetivo principal del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio, ya sea un cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc., para la cual se analizará las variables físicas, químicas y microbiológicas de interés. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

- **Simple o puntuales:** es una muestra que representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Esta muestra se recolecta cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado.
- **Compuestas:** se refiere a la combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

## **1.6. Normativas vigentes en Guatemala relacionadas al tratamiento de aguas residuales**

En Guatemala existen 3 leyes vigentes que obligan al tratamiento de las aguas residuales que produce un ente generador. El más antiguo es el Decreto No. 68-86, llamado *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, que impulsa a la elaboración de estudios de impacto ambiental, para establecer los posibles problemas ambientales derivados de una actividad o proyecto que se desea realizar. El segundo es el Decreto No. 90-97, denominado *Código de salud*, que, entre otros temas, indica que quien genera las aguas residuales y las vierte a un cuerpo receptor, es responsable del tratamiento previo a la descarga.

El último acuerdo creado y el que se enfoca únicamente al tema de las aguas residuales, es el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, denominado *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. En este reglamento se establecen los parámetros de calidad que deben cumplirse para las descargas de las aguas residuales. Además, incluye límites de parámetros de metales pesados en los lodos que se generan de los tratamientos de las aguas residuales y los parámetros mínimos para reutilizar el agua residual tratada con diversos fines.

Para la descarga a cuerpos receptores de entes generadores constituidos previos al 2006 (como es el caso de la URL), el reglamento establece, en el artículo 20, los siguientes límites de calidad.

Tabla I. Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 20

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 9.

Para el 2024, el parámetro de DBO<sub>5</sub> debe ser igual o menor a 200 mg/l.

En el reglamento también se establecen los siguientes límites para el reúso del agua tratada en el artículo 35.

Tabla II. **Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 35**

Tipo de reúso	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100mL)
Riego agrícola	No aplica	No aplica
Cultivos comestibles	No aplica	<2x10 <sup>2</sup>
Acuicultura	200	No aplica
Pastos y otros cultivos	No aplica	<1x10 <sup>3</sup>
Recreación	200	<1x10 <sup>3</sup>

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 17.

Nota: el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 fue modificado durante la redacción de este estudio, sin embargo las modificaciones no afectan los resultados y las conclusiones obtenidas.

## 1.7. Reúso del agua tratada

En los últimos años, debido a la creciente escasez de agua, la necesidad de proteger el ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales, se han desarrollado alternativas para reutilizar el agua.

### 1.7.1. Calidad del agua tratada para el reúso en riego

Uno de los puntos más importante para analizar la calidad del agua para el riego son las sales que contiene. Estas influyen en el rendimiento y la calidad de las cosechas y, si no se eliminan o controlan, causan la salinización progresiva del suelo. La influencia en los cultivos de la salinidad del agua de

riego depende de la tolerancia de cada especie y variedad vegetal, el tipo y la cantidad de sales disueltas, las características del suelo, el clima y el método de riego. Es por ello que se debe evaluar la calidad del agua, para minimizar o evitar los problemas que pueden causar las aguas de riego, los cuales son: provocan que las raíces tengan que realizar una mayor presión de succión para absorber el agua disminuyendo el rendimiento de los cultivos, corroen los equipos de riego reduciendo con ello su vida útil, según los elementos presentes se puede reducir la velocidad de infiltración en el suelo y, si los elementos contienen iones tóxicos para los cultivos, hacen disminuir los rendimientos.

### **1.7.2. Relación de absorción de sodio (RAS)**

Es un índice utilizado para establecer si el sodio presente en el agua utilizada para riego afectará de forma negativa a la vegetación y al suelo. Se usa para prever los problemas de infiltración a causa de concentraciones altas de sodio o bajas de calcio, cuando se utiliza cierta agua para riego. Toma en cuenta los efectos del dióxido de carbono, del bicarbonato y de la salinidad sobre el calcio contenido inicialmente en el agua de riego y que no forma parte del agua del suelo. Además, supone la presencia de alguna fuente de calcio en el suelo como la caliza y los silicatos.

El RAS se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+}) + Mg^{2+}}{2}}}$$

Al comparar el análisis RAS con la salinidad del agua que se quiere utilizar para riego, se puede establecer si el agua es buena para el riego, se puede usar con precaución o no se puede utilizar. De cierta forma, la velocidad de infiltración disminuye a medida que disminuye la salinidad

## **1.8. Técnicas de riego**

El riego es el método empleado desde varios siglos atrás para proveer de agua a los cultivos, sobre todo en época seca. Existen distintas técnicas, dentro de las más utilizadas se encuentran el riego por aspersión y el riego por goteo

### **1.8.1. Riego por aspersión**

Consiste en el uso de aspersores que dispersan finas gotas de agua sobre el área a ser regada, a una menor intensidad que la velocidad de absorción del suelo. Para que el sistema funcione adecuadamente, se debe contar con la presión suficiente para que el aspersor logre hacer su trabajo de distribuir finas gotas de agua sobre el 100 % del terreno.

Un sistema de riego por aspersión típico está formado por los siguientes elementos:

- Fuentes de abastecimiento y equipo de bombeo.
- Sistema de control: compuesto por válvulas de retorno, válvulas de aire, válvulas reguladoras de flujo y presión, tanque fertilizador y filtros.

- Tuberías y accesorios para conducir el agua de riego desde la fuente de abastecimiento hasta los aspersores.
- Aspersores.

Este sistema tiene las ventajas y desventajas que se enumeran en el cuadro a continuación.

Tabla III. **Ventajas y desventajas del riego por aspersión**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Apto para todo tipo de suelos y cultivos	Alto costo de instalación
Adaptable a la topografía del terreno	Se ve afectado por el viento
Se oxida el agua utilizada al ponerla en contacto con el aire, facilita el uso de agua residual	La tubería enterrada puede afectar las tareas agrícolas necesarias para los cultivos/siembras
Alta eficiencia de riego	Propicia crecimiento de mala hierba
Se pueden mezclar fertilizantes en el agua	
Se controla la cantidad de agua aplicada	

Fuente: Moya Talens, J.A. *Riego localizado y fertirrigación*. p. 130.

### 1.8.2. Riego por goteo

Este método consiste en la aplicación del agua de riego por gotas sobre la zona radicular de las plantas. El requerimiento de presión del sistema es casi nulo y el agua es conducida por medio de un sistema de mangueras perforadas con goteros. El sistema humedece una superficie reducida de suelo, denominada bulbo húmedo, por lo que debe ajustarse la separación entre

goteros acorde a la separación de siembra, ya sea de forma horizontal o vertical.

Los componentes del sistema de riego por goteo son:

- Fuente de abastecimiento
- Tuberías de conducción
- Sistema de filtración para evitar el taponamiento de los goteros
- Goteros o emisores

Tabla IV. **Ventajas y desventajas del riego por goteo**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mantiene el suelo en condiciones óptimas de humedad.	Altos costos de inversión inicial
Facilita labores de fertilización	Los materiales deben ser resistentes a la corrosión y a los rayos del sol
Menores pérdidas por evaporación	Mayores pérdidas por transpiración
Se adapta a la topografía del lugar	Son frecuentes los taponamientos
No se ve afectado por el viento	Requiere de mayor mantenimiento
Alta eficiencia de aplicación (90%)	
Menor incidencia de malezas	

Fuente: Moya Talens, J.A. *Riego localizado y fertirrigación*. p. 130.

## **1.9. Ecotoxicología**

Es la ciencia que se dedica al estudio de los contaminantes en los ecosistemas, intentando explicar las causas y prever los riesgos probables. Existen diversos métodos para realizar las pruebas. En este estudio se utilizó un método rápido llamado Phytotoxkit.

### **1.9.1. Phytotoxkit**

Es un método que permite conocer el impacto tóxico que determinado parámetro puede tener sobre las plantas. Este análisis compara la germinación y el crecimiento de las raíces jóvenes de tres tipos de semillas específicas al someter unas a la sustancia en estudio y otras no. La comparación de los crecimientos indica si el efecto de la sustancia en las semillas es positivo, negativo o irrelevante.

## **2. METODOLOGÍA**

El estudio está conformado por una primera etapa de campo y una segunda etapa de investigación y análisis de resultados, que tuvo como consecuencia el documento final del estudio. A continuación se detalla la metodología utilizada para cumplir cada uno de los objetivos específicos.

### **2.1. Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual**

Se realizó mediante el análisis de la calidad del agua que entra y sale de cada unidad de tratamiento, así como la medición del tiempo de residencia en el sedimentador primario y en el secundario, y la carga con la que trabaja el filtro percolador.

#### **2.1.1. Selección de parámetros de análisis**

Para establecer la eficiencia del sistema de tratamiento, fue necesario evaluar distintos parámetros de la calidad del agua que ingresa y sale de cada unidad de tratamiento. A continuación se presenta un cuadro con los parámetros analizados y su importancia.

Tabla V. **Parámetros a evaluar para establecer la eficiencia de la PTAR**

PARÁMETRO	CRITERIO DE SELECCIÓN
Temperatura	Parámetro muy importante debido a su impacto en el desarrollo de la vida acuática, las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles.
DBO <sub>5</sub>	Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado. La determinación del mismo está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.
Sólidos suspendidos	Pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual al entorno acuático.
Nitrógeno total-fósforo total	Tanto el nitrógeno como el fósforo son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada.
pH	La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad del agua de suma importancia, ya que el intervalo de concentración adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico.
Coliformes fecales	Indicador de contaminación fecal en el agua.

Continuación de la tabla V.

PARÁMETRO	CRITERIO DE SELECCIÓN
pH	La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad del agua de suma importancia, ya que el intervalo de concentración adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico.
Coliformes fecales	Indicador de contaminación fecal en el agua
Color	Es la impresión ocular producida por la materia en el agua. El color puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o a sustancias en suspensión (color aparente).
DQO	Se emplea para medir el contenido de materia orgánica en aguas residuales, tanto industriales como municipales, que contenga compuestos tóxicos para la vida biológica.

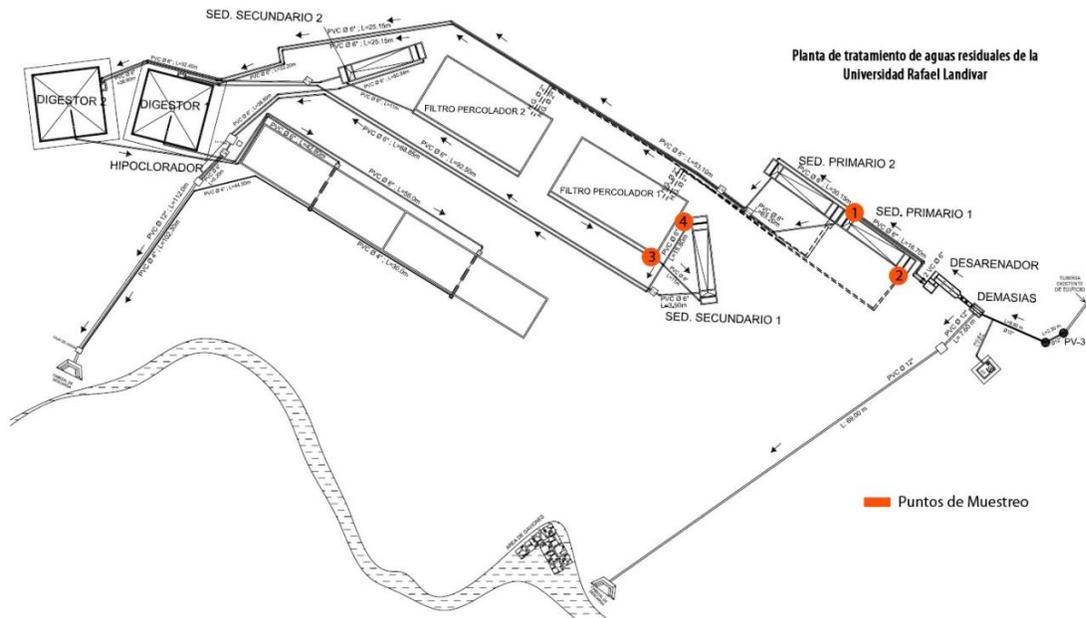
Fuente: elaboración propia.

### 2.1.2. Puntos de muestreo

Para realizar la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento existente, se tomaron las muestras en los siguientes puntos de la planta de tratamiento de aguas residuales:

- Entrada al sedimentador primario (número 1)
- Salida del sedimentador primario (número 2)
- Salida del Filtro Percolador (número 3)
- Salida al sedimentador secundario(número 4)

Figura 2. Esquema de puntos de muestreo



Fuente: AGUILAR CARRERA, Félix Alan Douglas. *Informe final sistema de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar Guatemala.* p. 35.

### **2.1.3. Medición del caudal y determinación de tiempos de residencia**

La eficiencia de un sedimentador está directamente ligada al tiempo de residencia que el agua tenga en la estructura del mismo, es por ello que, para poder evaluar el funcionamiento de un sedimentador, se debe establecer el tiempo de residencia y la eficiencia de remoción de contaminantes específicos, al analizar la calidad del agua que ingresa y sale del sedimentador.

El tiempo de residencia se determinó al comparar el caudal de agua residual que ingresa al sistema y el volumen del tanque sedimentador. En el caso del filtro percolador, se determinó la carga hidráulica a la que trabaja mediante la medición del caudal que ingresa al sistema y el área superficial del filtro.

## **2.2. Evaluación de la calidad del efluente de la PTAR para establecer la posibilidad del reúso en riego**

Se estableció si el agua es apta o no para el riego mediante una prueba de fitotoxicidad al agua tratada, y una prueba de RAS. Además, al comparar los parámetros que establece el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 y los que establece la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

### **2.2.1. Selección de parámetros de análisis**

Para establecer si el efluente de la PTAR es apto para el reúso en riego, se determinaron los siguientes parámetros.

Tabla VI. **Parámetros a evaluar para establecer la calidad del efluente para uso en riego**

PARÁMETRO	CRITERIO DE SELECCIÓN
Conductividad eléctrica - salinidad	El agua pura es un mal conductor de la electricidad, pero cuando tiene sales disueltas puede conducirla en forma proporcional a la cantidad de sales presentes. Este concepto se usa para la medición de su salinidad en términos de conductividad eléctrica.
pH	El suelo condiciona la disponibilidad de nutrientes, reduciendo la del fósforo y muchos micronutrientes metálicos (Fe, Mn Zn, Cu, B).
Nitrógeno y fósforo total	El aporte de nitrógeno puede suponer una reducción de costos de abonado o, si supera las extracciones de los cultivos, provocar la lixiviación de nitratos, contaminando los acuíferos y las aguas superficiales, desequilibrar el cultivo y hacerlo más susceptible a incidencia de plagas y enfermedades, así como provocar un exceso de desarrollo vegetativo y limitar la floración.
Relación de absorción de sodio (RAS)	Es uno de los índices más utilizados para medir el peligro de sodificación que presenta el agua de riego.
Análisis fitotoxicológico	Los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) en el suelo o agua, que pueden ser tomados y acumulados por las plantas hasta concentraciones altas, causando daño a los cultivos o baja en su rendimiento. El grado del daño depende de la asimilación y la sensibilidad del cultivo. Los iones que con mayor frecuencia causan problemas de toxicidad en las plantas son el cloruro, el sodio y el boro.

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.2. Puntos de muestreo**

Para establecer la calidad del agua tratada y disponible actualmente para su reuso en el riego de jardines, se analizará la calidad del efluente del sedimentador secundario (punto 4 en el diagrama de la PTAR).

### **2.2.3. Análisis fitotoxicológico**

Fitotoxicidad es el efecto tóxico que un componente tiene sobre el crecimiento de una planta. Dicha toxicidad es causada por uno o varios componentes que pueden estar presentes en el suelo o en el agua de riego, es por esto que se hace necesario realizar un análisis fitotoxicológico para determinar si la calidad del efluente de la PTAR favorece o no el crecimiento de la vegetación del campus central de la URL.

- Metodología para realizar el análisis fitotoxicológico: el método convencional para determinar la fitotoxicidad es bastante complejo, demanda espacio y tiempo, es por esto que se decidió utilizar un método más práctico para realizar dicha prueba (ver apéndice 3).
  - Phytotoxkit: Es un método estandarizado que permite medir la disminución (o la ausencia) de la germinación de las semillas y el crecimiento de las raíces jóvenes después de unos pocos días de su exposición a sustancias tóxicas o suelos contaminados, en comparación con los controles en un suelo de referencia.

El Phytotoxkit hace uso de placas de ensayo transparentes planas y de poca profundidad compuestas de dos compartimentos, en

cuya parte inferior hay suelo saturado a la capacidad de retención de agua (WHC).

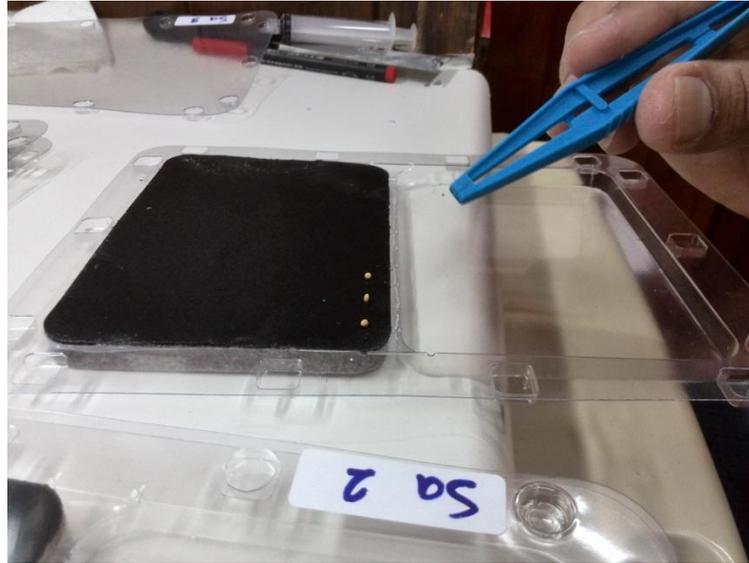
Las semillas de las plantas de ensayo seleccionadas se colocan a igual distancia cerca de la orilla central de la placa de ensayo sobre un papel filtro negro, colocado en la parte superior del suelo hidratado.

Figura 3. **Placas de ensayo**



Fuente: laboratorio particular, Lic. Pablo Mayorga

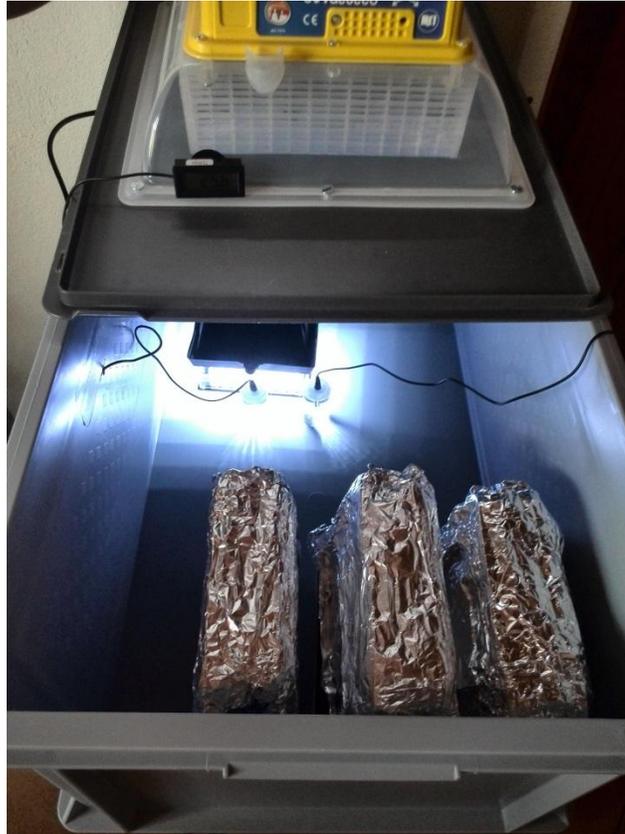
Figura 4. **Plantación de semillas**



Fuente: laboratorio particular, Lic. Pablo Mayorga

Después de cerrar las placas de ensayo con su cubierta transparente, se colocan verticalmente en un soporte y se incuban a 25 °C.

Figura 5. **Incubación de semillas**



Fuente: laboratorio particular, Lic. Pablo Mayorga

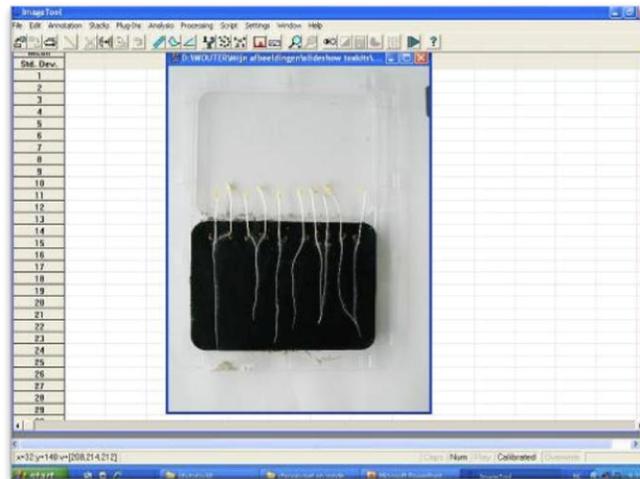
La duración del período de incubación (mínimo 3 días) depende del tiempo de germinación de las semillas y la velocidad de crecimiento de las raíces. Al final del período de incubación se toma una fotografía digital de las placas de ensayo con las plantas germinadas para su posterior análisis en la computadora.

Figura 6. Toma de imagen digital



Fuente: laboratorio particular, Lic. Pablo Mayorga

Figura 7. **Medición de las raíces**



Fuente: elaboración propia, con programa Image Tool.

Las longitudes de las raíces son un indicador del grado de toxicidad a las que las semillas fueron sometidas. Generalmente se utilizan 3 tipos de semillas: gilipliegue, mostaza blanca y zorgo, por sus características de rápido crecimiento. Si el 20 % de las semillas presentan inhibición en su desarrollo se considera la sustancia en análisis como potencialmente tóxica.

### **2.3. Evaluación de la eficiencia en la remoción de nutrientes al reutilizar el agua tratada para riego**

La remoción de nutrientes en el agua debido al riego de plantas comunes en el campus de la Universidad se evaluó mediante el análisis de nitrógeno y fósforo total en el agua pre y posriego.

### 2.3.1. Selección de parámetros de análisis

Para establecer si el reúso en riego es eficiente para la remoción de nutrientes en el agua, se determinaron los parámetros descritos en la tabla VII.

Tabla VII. **Parámetros a evaluar para establecer la eficiencia en la remoción de nutrientes**

PARÁMETRO	CRITERIO DE SELECCIÓN
Nitrógeno y fósforo total	El aporte de nitrógeno puede suponer una reducción de costos de abonado o, si supera las extracciones de los cultivos, provocar la lixiviación de nitratos, contaminando los acuíferos y las aguas superficiales, desequilibrando el cultivo y haciéndolo más susceptible a incidencia de plagas y enfermedades, así como provocando un exceso de desarrollo vegetativo y limitando la floración.

Fuente: elaboración propia.

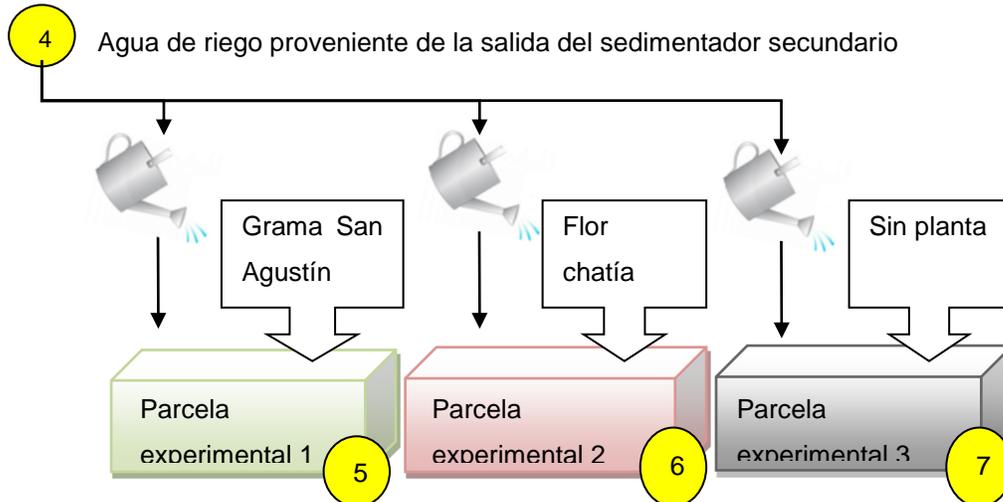
### 2.3.2. Puntos de muestreo

En cuanto a la toma de muestra para realizar la evaluación del agua para su reúso en riego, se tuvo otros 4 puntos de muestreo. El agua que se utilizó para las pruebas de riego se tomó de la salida del sedimentador secundario, por lo que este fue el primer punto de muestreo. Los otros tres puntos de toma de muestra fueron al pie de las parcelas experimentales para captar el agua que escurría después de pasar por el área radicular de las plantas. De tal cuenta, a continuación se enumeran los cuatro puntos de muestreo:

- Salida del sedimentador secundario.

- Salida de la parcela experimental con siembra de grama (San Agustín o *Stenotaphrum secundatum*).
- Salida de la parcela experimental con siembra de flores chatías (*Catharanthus roseus*).
- Salida de la parcela experimental sin siembra.

Figura 8. **Esquema de riego en parcelas experimentales**

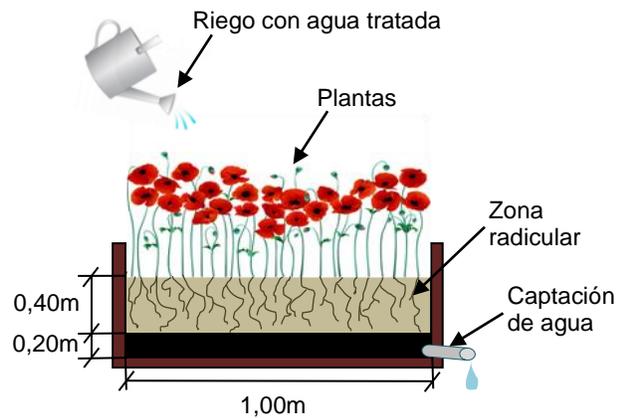


Fuente: elaboración propia.

La profundidad de las parcelas experimentales se determinó en función de la profundidad a la que la raíz de cada tipo de planta podrá alcanzar. En el caso de la grama San Agustín y de la flor chatía, la profundidad a la que generalmente llega la raíz desarrollada es de 0,20 m debajo de la superficie. De esta cuenta, las parcelas experimentales tuvieron una profundidad de 0,60 m y un área útil de 1,0 m<sup>2</sup>. Para poder captar el agua que pasa por el área radicular de la planta, las parcelas experimentales tenían una capa de 0,20 m de pedrín en el fondo que conducía el agua hacia una manguera de captación.

Sobre la capa de piedrín se colocó una capa de 0,40 m de tierra negra, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Esquema de la parcela experimental**



Fuente: elaboración propia.

Ver apéndice 1 con fotografías de la construcción de las parcelas experimentales.

#### 2.4. **Análisis estadístico para establecer la cantidad de muestras**

Para la determinación de la eficiencia de la PTAR, se estimó la cantidad de muestras a utilizar con base en el método estadístico que propone el Standard Methods, pues se trata de un cuerpo de agua que tiene características variables. El método propone la utilización de una gráfica de curvas de confianza con base en la siguiente ecuación:

$$N \geq \frac{ts^2}{U}$$

En donde,

$N$  = número de muestras

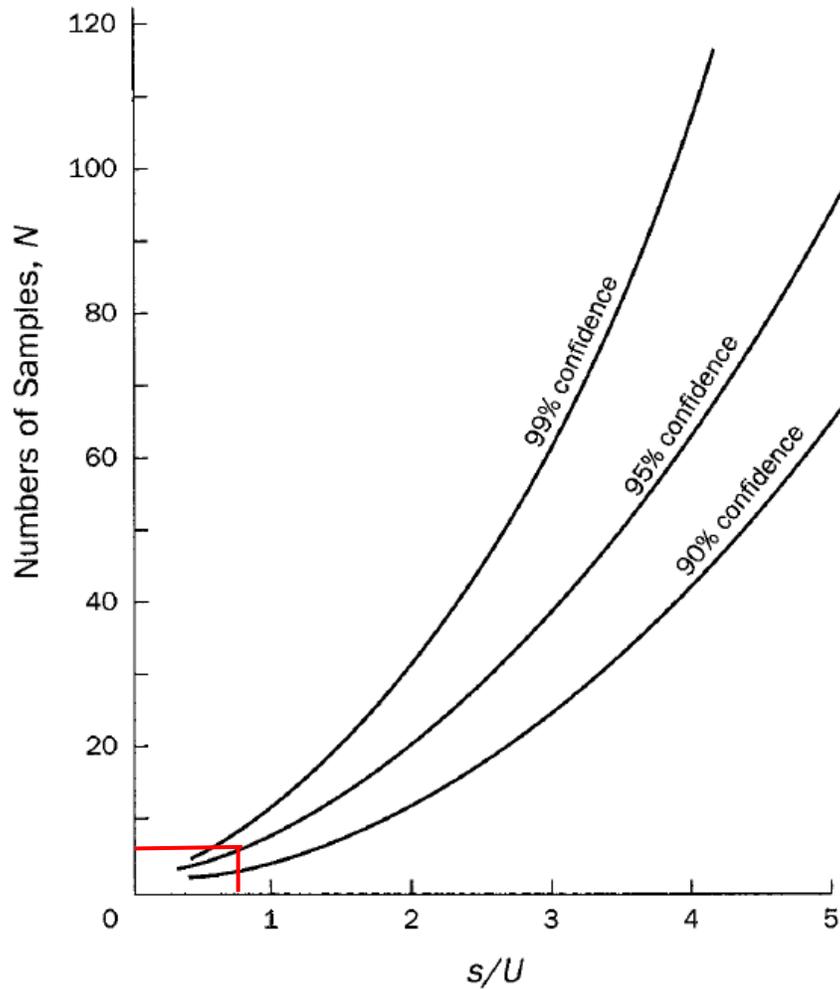
$t$  = student-t para un determinado nivel de confianza

$s$  = desviación estándar

$U$  = nivel de incertidumbre aceptable

En general, si se acepta un nivel de incertidumbre ( $U$ ) de 0,05 mg/l en relación a la mitad de la unidad más pequeña que se podrá medir, y una desviación estándar de 0,05 mg/l, la gráfica del 95 % de confianza indica una cantidad mínima de 7 muestras por cada punto de muestreo, lo que equivale a un total de 49 muestras a analizar.

Figura 10. **Número aproximado de muestras requeridas para estimar la concentración promedio en cuerpos de agua**



Fuente: *Standard Methods for examination of Water and Wastewater*. p. 57.

Para el caso de este estudio, los parámetros de nitrógeno y fósforo son los de mayor relevancia, es por ello que se utilizaron los datos proporcionados por

el manual de uso para el análisis químico de cada nutriente, en su apartado de aseguramiento analítico de calidad.

Tabla VIII. **Datos del manual de procedimientos**

	Nitrógeno	Fósforo
Método	Test en cubeta Nitrógeno Total - MERCK	Test en cubetas Fosfatos - MERCK
Desviación estándar del procedimiento (mg/l de N o P)	+ 0,15	+ 0,15
Coefficiente de variación del procedimiento (%)	+ 1,70	+ 1,20
Intervalo de confianza (mg/l de N o P)	+ 0,40	+ 0,40
Número de lotes	24	32

Fuente: *Manual de procedimientos MERCK para determinación de fósforo y nitrógeno*. p. 2

En ambos caso

Desviación estándar (S) =  $\pm 0,15$  mg/L N

Incertidumbre aceptable (U) =  $\pm 0,40$  mg/L N

Por lo que

$$S/U = 0,15/0,40 = 0,38$$

Con estos datos, en la figura 10 se establece que para  $S/U = 0,38$  y un 99 % de confianza, se obtienen un total de 5 muestras. Del análisis anterior se concluye que el número de muestras a utilizar es 7, ya que este valor cubre de manera adecuada los parámetros de nitrógeno y fósforo, así como el resto de parámetros a analizar.

En cuanto al área de cada parcela experimental para realizar las pruebas de remoción de nutrientes en grama y en flores chatía, se determinó que 1 m<sup>2</sup> para cada tipo de planta asegura que la planta tenga el área necesaria para su completo desarrollo y, consecuentemente, absorberá la cantidad de nutrientes que requiera sin problema.

## **2.5. Selección del tipo de muestra**

La eficiencia del sistema de tratamiento se evaluó mediante el análisis de muestras compuestas para obtener valores representativos y globales de la calidad del agua que ingresa y sale del sistema. El período de muestreo fue de 5 horas, considerando que es el tiempo que teóricamente debiera permanecer el agua en la planta de tratamiento de aguas residuales a caudal máximo. De esta cuenta, cada muestra compuesta se conformó por tres muestras simples tomadas a intervalos de 100 minutos.

Para establecer la eficiencia en la remoción de nutrientes que se tiene en las parcelas experimentales, la muestra de salida será puntual pues se trata de un sistema que recibe agua una vez al día.

## **2.6. Análisis beneficio costo**

Se realizó un análisis beneficio-costos que tomó en cuenta las modificaciones en la infraestructura del riego en la Universidad, los cambios en la extracción del agua de pozo, el consumo de electricidad, entre otros.



### **3. LÍNEA BASE DEL ESTUDIO**

La Universidad Rafael Landívar cuenta con algunos datos referentes a la cantidad de agua que consume, a la calidad del agua que ingresa y sale del sistema de tratamiento de aguas residuales. A continuación se presentan dichos datos y el respectivo análisis. Además, se presenta la evaluación preliminar del funcionamiento de la PTAR en la época que recibe el menor caudal del año.

#### **3.1. Consumo de agua**

El agua utilizada en el campus central de la URL, hasta mediados del 2013, se extrajo de un pozo propio. En el 2014 se realizó la perforación de un segundo pozo para abastecer la demanda de agua de la Universidad.

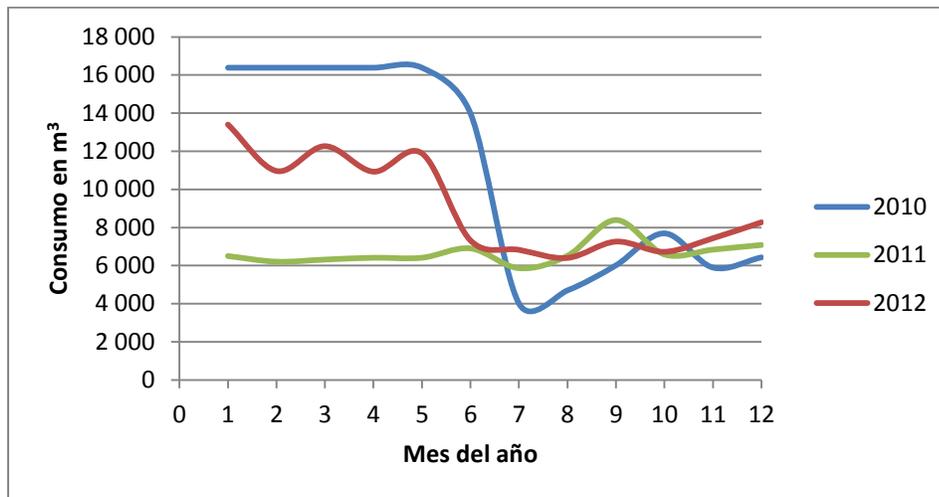
Se cuenta con mediciones del caudal que se extrajo del primer pozo de la URL entre los meses de enero 2010 a diciembre 2012. A continuación se presenta esta información.

Tabla IX. Datos de consumos de agua

Mes	Consumo en metros cúbicos		
	2010	2011	2012
Enero	16 382	6 501	13 400
Febrero	16 382	6 206	10 965
Marzo	16 382	6 317	12 267
Abril	16 382	6 412	10 929
Mayo	16 382	6 412	11 890
Junio	13 988	6 903	7 322
Julio	4 012	5 864	6 827
Agosto	4 700	6 513	6 404
Septiembre	6 012	8 391	7 259
Octubre	7 691	6 585	6 724
Noviembre	5 897	6 838	7 435
Diciembre	6 431	7 082	8 272
<b>Total al año</b>	<b>130 641</b>	<b>80 024</b>	<b>109 694</b>
Prom. época seca	14 724	6 488	11 287
Prom. época lluviosa	7 050	6 849	6 995
Diferencia	7 674	-361	4 292

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Universidad Rafael Landívar.

Figura 11. Consumo de agua en campus central de la URL



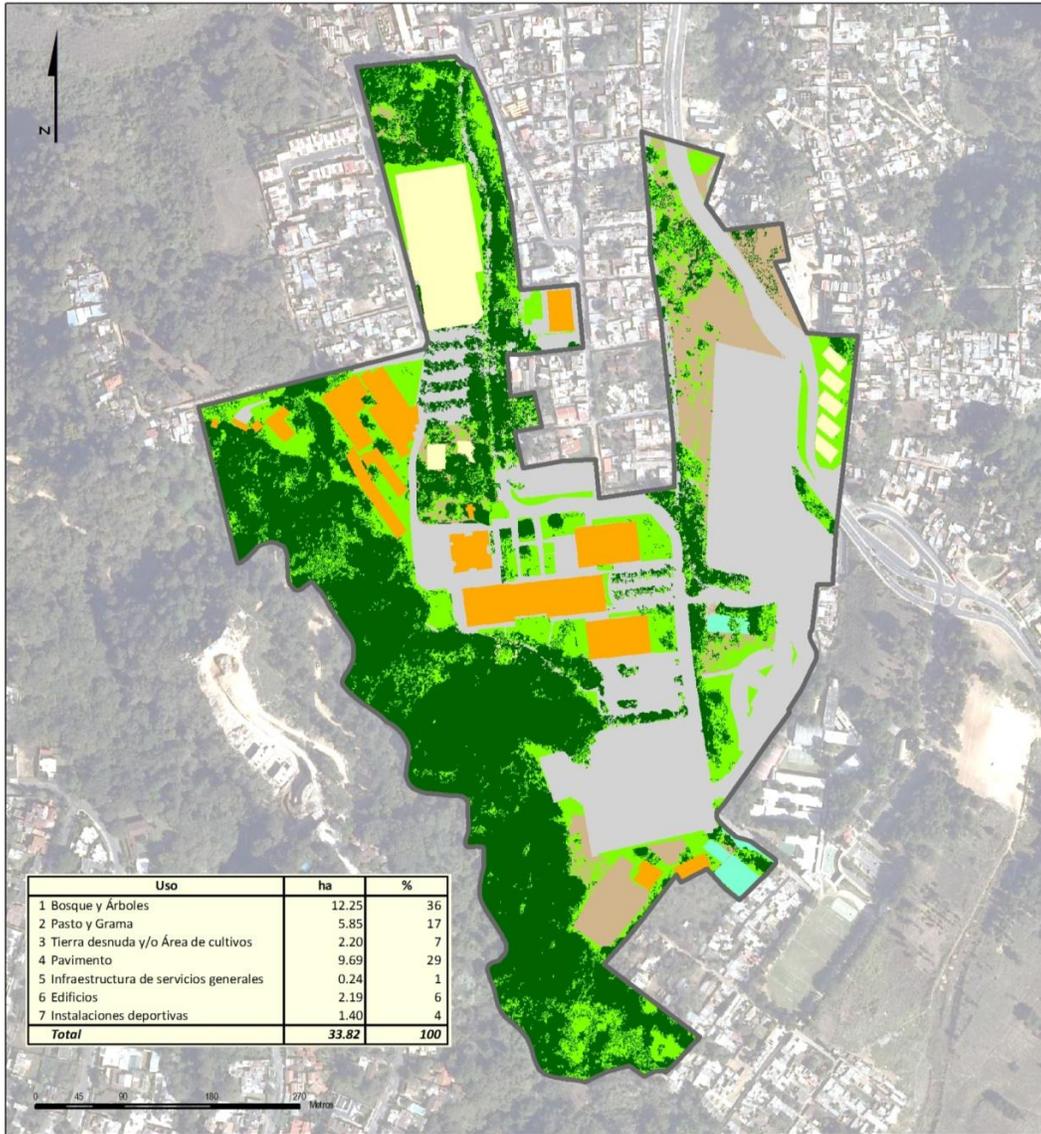
Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por IARNA.

Las variaciones de la curva de extracción de agua entre los 3 años es notoria, siendo en el 2010 cuando se extrajo mayor cantidad de agua y el 2011 cuando fue menor el volumen de agua extraído. Tanto el 2010 como el 2012 muestran una tendencia a utilizar más agua en época seca que en época de lluvia, la diferencia entre el consumo de agua en ambas épocas podría indicar que, en ambos casos, más del 38 % del agua extraída del pozo en verano fue utilizada con fines de riego. Sin embargo, la curva del volumen de agua extraído en el 2011 muestra un consumo relativamente constante durante todo el año.

### 3.2. Uso del suelo en el campus central de la URL

Para establecer el total de área verde que requiere de riego en el campus central de la URL, se cuenta con un mapa del uso del suelo elaborado por el IARNA en 2009.

Figura 12. Uso del suelo en el campus central de la URL



<p><b>UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR DE GUATEMALA</b>                  Dirección General de Investigación y Proyección                  Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA)</p>		<p><b>Mapa de Cobertura y Uso del Campus Central - URL (2006)</b></p>	
<p>Proyección del mapa digital: GTM, DATUM WGS 84.                  Proyección del mapa impreso: Coordenadas Geográficas, Esferoide de Clarke 1866.</p>		<p><b>Leyenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Lindero URL</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #008000; margin-right: 5px;"></span> Bosque y Árboles</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #90EE90; margin-right: 5px;"></span> Pasto y Grama</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #D2B48C; margin-right: 5px;"></span> Tierra desnuda y/o Área de cultivos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #FFD700; margin-right: 5px;"></span> Pavimento</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #ADD8E6; margin-right: 5px;"></span> Infraestructura de servicios generales</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #FF8C00; margin-right: 5px;"></span> Edificios</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #FFD700; margin-right: 5px;"></span> Instalaciones deportivas</li> </ul>	
<p>   </p>		<p>Fuente: Elaboración Propia MAGA, 2006 Elaborado por: Laboratorio SIG IARNA Guatemala, junio de 2009</p>	
		<p>Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente</p>	

Fuente: IARNA, 2009.

Las áreas verde claro indican áreas de pasto y grama, que corresponden a un 17 % del total del territorio universitario, equivalente a 5,85 hectáreas. Una pequeña porción del área de pasto y grama se encuentra dentro de las distintas áreas boscosas de la universidad, áreas que no requieren de riego. Con base en lo anterior, se estima que 5,0 hectáreas del campus central de la URL consiste en área de pasto y grama que sí requiere de un riego periódico.

### **3.3. Estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Se realizó un diagnóstico del funcionamiento actual de los distintos módulos que conforman la PTAR, tomando en cuenta el estado físico de las instalaciones, las tareas de mantenimiento que se llevan a cabo y la apariencia del agua tratada. La visita a las instalaciones se llevó a cabo el mes de diciembre del 2013 durante un período de 9 horas. En esta época del año se registran los menores caudales que ingresan a la planta. La información se presentará por medio de un cuadro descriptivo y fotografías.

#### **3.3.1. Pretratamiento: canal de demasías**

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al canal de demasías.

Tabla X. **Diagnóstico del canal de demasías**

Característica	Comentarios
Estructura	El concreto se encuentra en buen estado. Se recomienda lavar la parte interna de la caja para eliminar la vegetación que ha crecido sobre él, pues podría dañar la estructura. Además, se recomienda pintar la estructura para protegerla.
Operación	Durante el período de observación no se llegó a un caudal que provocara rebalse, pues la visita se realizó en la época de caudal bajo del año. Sin embargo, los operarios nos comentaron que en las épocas altas de verano y en las horas pico, el caudal es de tal magnitud que rebalsa el canal. No se encontró ningún sólido obstruyendo el paso del agua en el canal.
Tareas de mantenimiento	No se observó su realización, sin embargo el canal se encontraba libre de sólidos, lo que asegura que recibe un mantenimiento adecuado y rutinario.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Pretratamiento: canal de rejjas

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al canal de rejjas.

Tabla XI. Diagnóstico del canal de rejjas

Característica	Comentarios
Estructura	El canal se encuentra en buen estado, al igual que las rejillas metálicas. Se recomienda pintar de nuevo las rejillas pues en algunas áreas se ha desprendido la pintura haciéndola vulnerable a la oxidación. También se recomienda pintar la estructura de concreto para su protección.
Operación	Se observó una velocidad adecuada en el flujo de agua que circula por las rejillas, pues permite que los sólidos de gran tamaño queden atrapados en ellas, a la vez que evita que se produzca la sedimentación de los sólidos.
Tareas de mantenimiento	Las rejillas son limpiadas constantemente en el día con la ayuda de un rastrillo. Los sólidos atrapados son vertidos en una bolsa plástica que después es desechada en un pozo.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.3. Pretratamiento: desarenador

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al desarenador.

Tabla XII. Diagnóstico del desarenador

Característica	Comentarios
Estructura	La estructura presenta una grieta en la unión de las dos compuertas que controlan el flujo del agua. Es importante reconstruir esta parte del desarenador, pues de lo contrario terminará por desprenderse el concreto y ya no podrán sostenerse las compuertas de metal.
Operación	Un canal se mantuvo cerrado todo el día, mientras que el otro se mantuvo en operación. En este canal se observó el flujo laminar del agua que al final desborda por un medidor de caudal tipo sutro que operaba abajo de su mínimo.
Tareas de mantenimiento	No se observó ninguna tarea de mantenimiento, pero el operario de la planta comentó que cada día realizan la limpieza del sedimentador, que se utilizó el día anterior con la ayuda de una pala y una bolsa plástica en la que vierten los residuos sedimentados.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4. Tratamiento primario: sedimentador primario

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al sedimentador primario.

Tabla XIII. Diagnóstico del sedimentador primario

Característica	Comentarios
Estructura	En general se encuentra en buen estado, aunque se recomienda pintarla.
Operación	Tanto el rebalse de ingreso como el de salida están desnivelados, por lo que existen puntos por los que el agua no logra rebalsar, reduciendo así el espacio disponible para hacerlo y dificultando el comportamiento laminar del fluido.
Tareas de mantenimiento	Se realiza una extracción diaria de lodos, sin embargo no se realizan las mediciones de lodos en el fondo del tanque para corroborar la cantidad de lodo a extraer. Se realiza la limpieza de los sólidos flotantes acumulados en las paredes de los tanques por medio de agua a presión. Los que aún queden flotando son removidos por medio de una red.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.5. Tratamiento secundario: filtro percolador

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al filtro percolador.

Tabla XIV. Diagnóstico del filtro percolador

Característica	Comentarios
Estructura	La estructura de concreto se encuentra en buen estado, aunque se recomienda pintarla para protección.
Operación	Existen áreas del filtro percolador que no son irrigadas con el agua a tratar, provocando el crecimiento de plantas en la superficie y desaprovechando la capacidad total del filtro. El diferencial de presión entre las tuberías de distribución provoca una repartición desigual del agua, pues en el inicio del tanque se irriga más caudal que al final del mismo.
Tareas de mantenimiento	En los casos de poco caudal, se produce un aumento de presión en las tuberías de distribución manipulando válvulas para destapar cualquier agujero que se encuentre obstruido. En distintos puntos de la superficie del filtro existe el crecimiento de vegetación y la proliferación de mosquitos.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.6. Tratamiento secundario: sedimentador secundario

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al sedimentador secundario.

Tabla XV. Diagnóstico del sedimentador secundario

Característica	Comentarios
Estructura	La estructura de concreto se encuentra en buen estado, aunque se recomienda pintarla para protección.
Operación	A diferencia del sedimentador primario, los vertederos del sedimentador secundario se encuentran bastante bien nivelados permitiendo el rebalse en toda su longitud. Sin embargo, con regular frecuencia surgen en la superficie borbotones de gas y lodos que emergen del fondo, lo que podría indicar una acumulación excesiva de lodos y por mayor tiempo del establecido.
Tareas de mantenimiento	Se realizan las mismas tareas de mantenimiento que para el sedimentador primario.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.7. Tratamiento terciario: desinfección

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico realizado al proceso de desinfección.

Tabla XVI. Diagnóstico de la desinfección

Característica	Comentarios
Estructura	La estructura de concreto se encuentra en buen estado, aunque se recomienda pintarla para protección.
Operación	El sistema de cloración se encuentra en buen estado, inyectando la solución a la tubería que conduce el agua tratada hacia la descarga.
Tareas de mantenimiento	Se colocan pastillas de cloro hasta lograr una solución de 1,0-1,5 mg/l, según los encargados de mantenimiento.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Curva de caudal mínimo en el año

Para hacer un análisis del caudal mínimo que maneja la PTAR, se realizó un aforo el día martes 3 de diciembre de 2013 desde la 8:00 horas hasta las 16:00 horas, con intervalos de 30 minutos entre cada medición. Esto, con el fin de analizar el comportamiento del caudal a lo largo del día, durante la época de menor generación de aguas residuales.

- Caudal de descarga: el aforo se realizó mediante el método volumétrico, midiendo el tiempo que tarda en llenar una cubeta de 5 galones. Se realizaron 3 repeticiones por cada medición para promediar los tiempos y con ello obtener el caudal aforado.

Figura 13. Realización del aforo



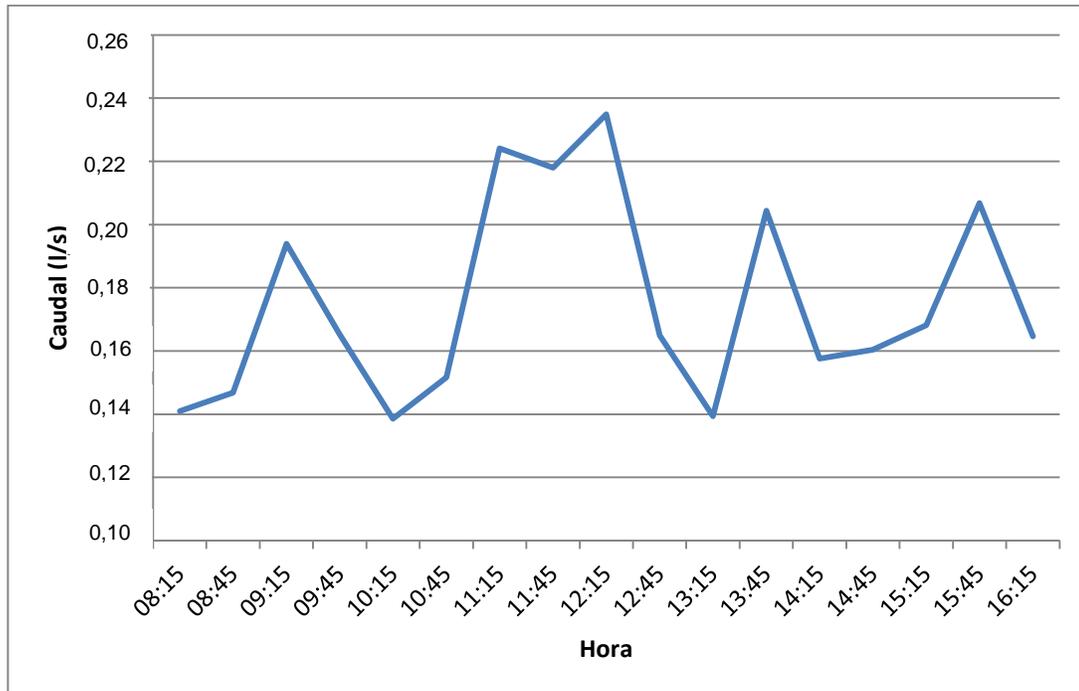
Fuente: planta de tratamiento de agua residual, Universidad Rafael Landívar

Tabla XVII. **Resultado del aforo a la salida de la PTAR (3/12/2013)**

Hora	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	Prom T (s)	Q (l/s)	pH
8:15	10,62	9,54	7,96	9,37	0,141	7,2
8:45	9,85	8,95	8,19	9,00	0,147	7,4
9:15	6,7	7,15	6,58	6,81	0,194	7,1
9:45	8,41	7,74	7,83	7,99	0,165	7,1
10:15	9,4	9,49	9,72	9,54	0,139	7,2
10:45	8,46	8,68	9	8,71	0,152	7,2
11:15	5,58	5,89	6,21	5,89	0,224	7
11:45	6,3	6,12	5,76	6,06	0,218	7,2
12:15	5,44	4,95	6,48	5,62	0,235	7,2
12:45	8,37	7,83	7,83	8,01	0,165	7,3
13:15	9,31	9,49	9,63	9,48	0,139	7,5
13:45	6,39	6,52	6,48	6,46	0,204	7,1
14:15	8,01	8,64	8,5	8,38	0,158	7,4
14:45	8,82	8,1	7,78	8,23	0,160	7,3
15:15	7,69	8,1	7,78	7,86	0,168	7,3
15:45	6,75	6,43	5,98	6,39	0,207	7,2
16:15	7,65	7,74	8,68	8,02	0,165	7,5

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Descarga de agua tratada en el campus central de la URL



Fuente: elaboración propia.

La curva de caudal muestra picos en su comportamiento, siendo el más grande al medio día. Los picos de caudal sensibles en la descarga de la PTAR permiten deducir que el comportamiento volumétrico del agua dentro de cada unidad de tratamiento es variable. Al comparar los caudales mínimos con los máximos, se encuentran diferencias de hasta un 70 %, lo que podría provocar una disminución en la eficiencia de cada unidad de tratamiento. El caudal día, si se asume un período de generación de aguas residuales de 12 horas en esta época del año, fue de 7 573,25 lt/día.

Tabla XVIII. **Resultados obtenidos del aforo**

Q ingreso promedio	0,18	l/s
Q ingreso promedio	7,57	m <sup>3</sup> /día
Volumen de sedimentador	78,03	m <sup>3</sup>
<b>Tiempo residencia hidráulica en sedimentador</b>	<b>10,30</b>	<b>día</b>
Área sup de filtro percolador	178,6	m <sup>2</sup>
<b>Carga superficial en filtro percolador</b>	<b>0,042</b>	<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. **Análisis organoléptico**

Se realizó un breve análisis organoléptico, tomando tres muestras en distintos puntos de la PTAR, que se enumeran a continuación:

- Entrada a la PTAR
- Salida del filtro percolador
- Salida de la PTAR

Tabla XIX. **Análisis organoléptico**

Característica	Comentarios
Color	Se pudo observar que entre el ingreso a la PTAR y la salida del filtro percolador la variación de color es muy poca. En la salida del filtro percolador se presentó un aumento en las partículas suspendidas sedimentables. Entre la muestra tomada a la salida del filtro percolador y la salida de la planta se pudo observar una mejora en la apariencia y color del agua, lo que indica que se logró una remoción de partículas suspendidas en el proceso del sedimentador secundario, equivalente a una mejor calidad de agua.
Olor	En la muestra del ingreso a la PTAR se percibió un olor a materia orgánica de media intensidad, el cual se vio reducido durante el proceso de tratamiento de la planta. Al final, el olor que se sintió en la descarga aún fue perceptible más no ofensivo.
Fotografía	

Fuente: elaboración propia.

Con el breve análisis organoléptico se pudo concluir que con tan poco caudal que ingresa a la PTAR (abajo del mínimo de diseño), esta no logra mantener su proceso normal de tratamiento, pues los períodos de retención crecen tanto y la materia orgánica disponible para los microorganismos disminuye tanto, que los procesos biológicos de degradación no se llevan a cabo con normalidad.

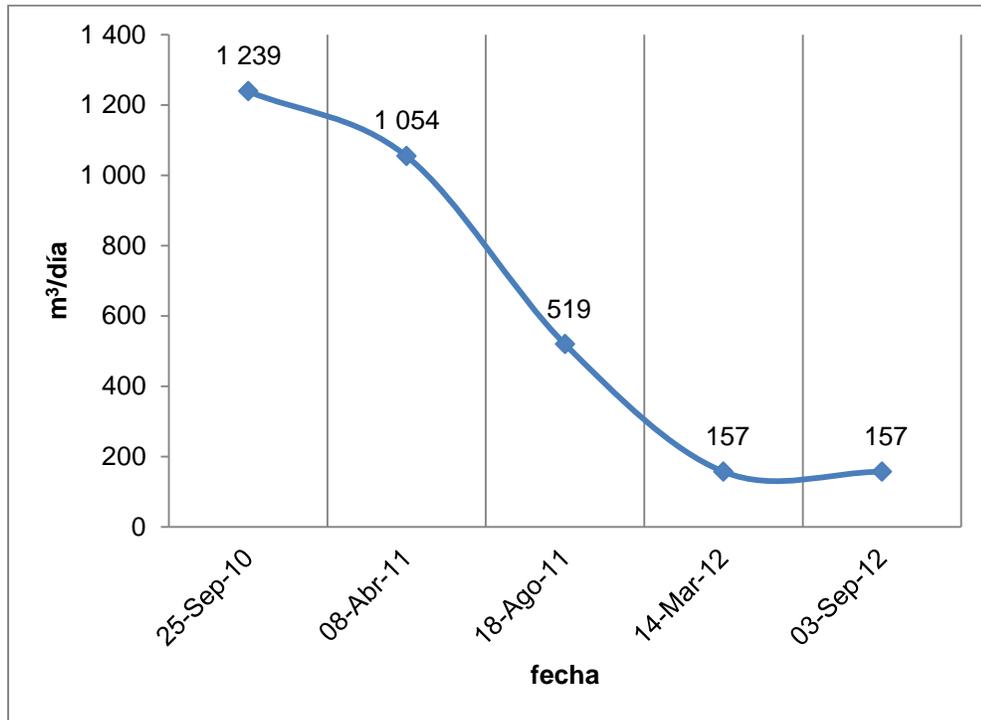
### **3.6. Calidad del agua de la PTAR**

Desde que la PTAR inició operaciones en 2010, se ha realizado periódicamente una serie de análisis para establecer la calidad del agua que ingresa al sistema de tratamiento y la calidad del agua que es descargada al río Contreras. Los parámetros analizados han sido los que el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 establece y los ha realizado el laboratorio ConCalidad, ubicado dentro de las instalaciones del campus central de la URL.

#### **3.6.1. Medición de caudal realizado por la URL**

Las mediciones del caudal que ingresa al sistema de tratamiento se presentan en la figura 15.

Figura 15. **Medición de caudal que ingresa a la PTAR**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de la URL.

Según la información, el caudal diario que ha ingresado a la planta ha disminuido considerablemente desde que se inició a operar. Al comparar estas mediciones con los caudales esperados a ingresar a la PTAR, calculados con base en las mediciones de extracción de agua en el campus, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla XX. **Caudales de ingreso y caudales esperados**

Fecha	Caudal medido en ingreso a PTAR (m <sup>3</sup> /día)	Caudal promedio extraído en pozo según mediciones (m <sup>3</sup> /día)
25-Sep-10	1 238,63	200,4
8-Apr-11	1 054,07	213,7
18-Aug-11	519,20	217,1
14-Mar-12	156,81	408,9
3-Sep-12	156,81	241,9

Fuente: elaboración propia.

La medición del ingreso del agua a la PTAR en septiembre 2010 es mucho mayor que lo extraído del pozo, podría suponerse el ingreso de agua pluvial a la PTAR, dado que los drenajes de la URL son combinados. En abril y agosto del 2011 se presenta el mismo caso, sin embargo en abril es poco probable que llueva. En el caso de marzo, el caudal que ingresa a la PTAR es el 38 % del que se extrajo del pozo, por lo que podría considerarse que el 62 % restante se utilizó para riego u otros usos que no descargan al colector que ingresa a la PTAR. Sin embargo, en cuanto a los caudales medidos en 2012, es cuestionable el que ambas mediciones sean del mismo valor exactamente.

### **3.6.2. Demanda química y bioquímica de oxígeno**

Con base en los datos de DQO y DBO<sub>5</sub> al ingreso y salida del sistema de tratamiento, se estimó la eficiencia del sistema.

Tabla XXI. Eficiencias del sistema

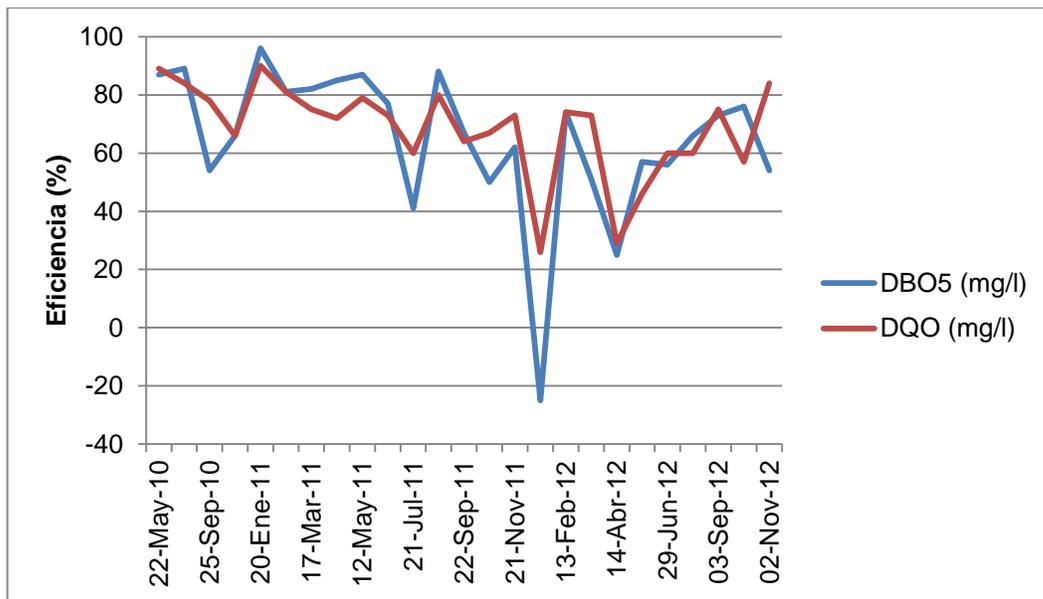
Fecha	DBO5 (mg/l)			DQO (mg/l)			Relación DBO/DQO
	Ingreso	Salida	Eficiencia	Ingreso	Salida	Eficiencia	
22-may-10	440	58	87 %	890	100	89 %	0,49
05-ago-10	500	55	89 %	990	160	84 %	0,51
25-sep-10	134	61	54 %	450	100	78 %	0,30
08-nov-10	283	95	66 %	567	191	66 %	0,50
20-ene-11	696	24,8	96 %	1030	100	90 %	0,68
17-feb-11	400	74,2	81 %	520	100	81 %	0,77
17-mar-11	220	40	82 %	344	85	75 %	0,64
08-abr-11	200	30	85 %	360	100	72 %	0,56
12-may-11	150	20	87 %	380	80	79 %	0,39
23-jun-11	220	50	77 %	450	120	73 %	0,49
21-jul-11	180	106,4	41 %	500	200	60 %	0,36
18-ago-11	250	30,1	88 %	500	100	80 %	0,50
22-sep-11	150	50	67 %	280	100	64 %	0,54
24-oct-11	100	50	50 %	300	100	67 %	0,33
21-nov-11	130	50	62 %	450	120	73 %	0,29
31-ene-12	200	250	-25 %	920	680	26 %	0,22
13-feb-12	390	100	74 %	780	200	74 %	0,50
14-mar-12	157,5	76,7	51 %	480	130	73 %	0,33
14-abr-12	120	90	25 %	280	200	29 %	0,43
15-may-12	210	90	57 %	520	280	46 %	0,40
29-jun-12	174	76	56 %	248	99	60 %	0,70
31-jul-12	135	46	66 %	248	99	60 %	0,54
03-sep-12	153	41	73 %	325	81	75 %	0,47
01-oct-12	200	48	76 %	387	166	57 %	0,52
02-nov-12	215	99	54 %	307	49	84 %	0,70

Época lluviosa
 
 Época seca

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la URL

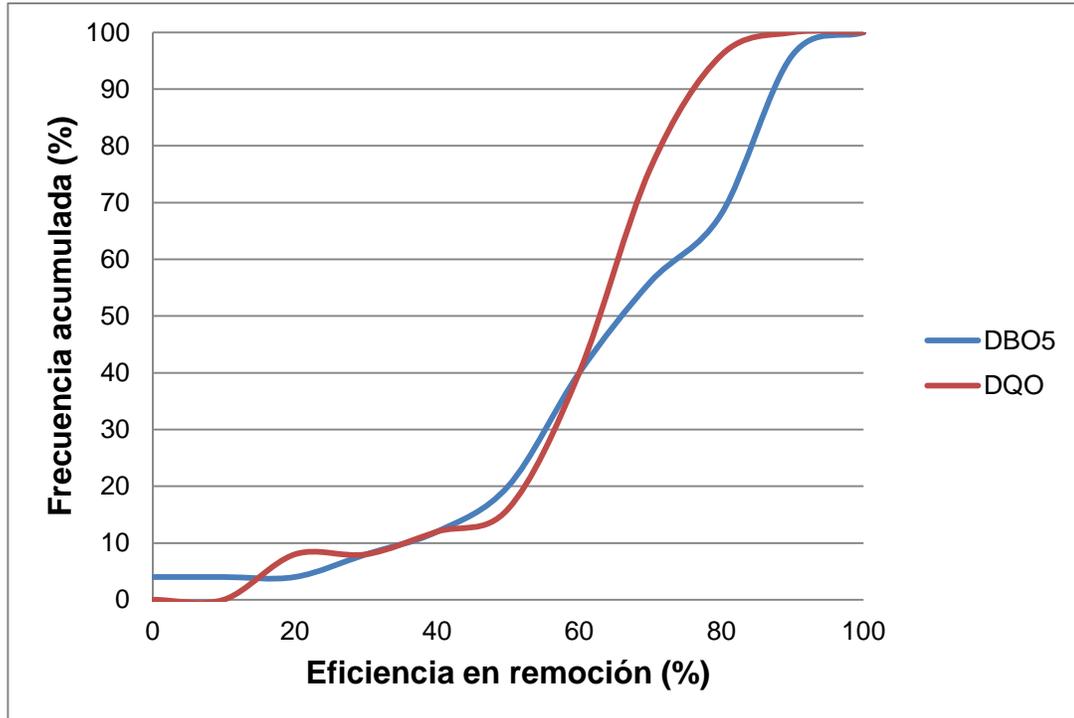
La mayoría de los datos muestran una relación  $DBO_5/DQO$  mayor a 0,4, indicando ser aguas muy biodegradables, únicamente 7 datos (el 28 %) indica relaciones biodegradables cercanas a 0,2. No se encontró ninguna correlación entre los cambios en la relación  $DBO_5/DQO$  y la época del año lluviosa o seca. Estos resultados tampoco reflejan un cambio en la eficiencia promedio del sistema en época de lluvia o seca (66 % y 64 % respectivamente para la  $DBO_5$ ).

Figura 16. **Eficiencia en remoción de  $DBO_5$  y  $DQO$**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de la URL.

Figura 17. **Eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO, curva de frecuencia acumulada**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de la URL.

La eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO es similar, puesto que en ambos casos únicamente el 20 % de los datos tiene una eficiencia menor al 50 % de remoción. En general, la eficiencia del sistema en cuanto a la remoción de estos dos parámetros ha disminuido constantemente conforme ha transcurrido el tiempo de operación de la planta, a excepción del 31 de enero de 2012 en el que la disminución en la eficiencia es significativa.

### 3.6.3. Nutrientes

Los nutrientes evaluados en el ingreso y salida del agua del sistema de tratamiento son el nitrógeno y el fósforo. A continuación se presentan los resultados del análisis.

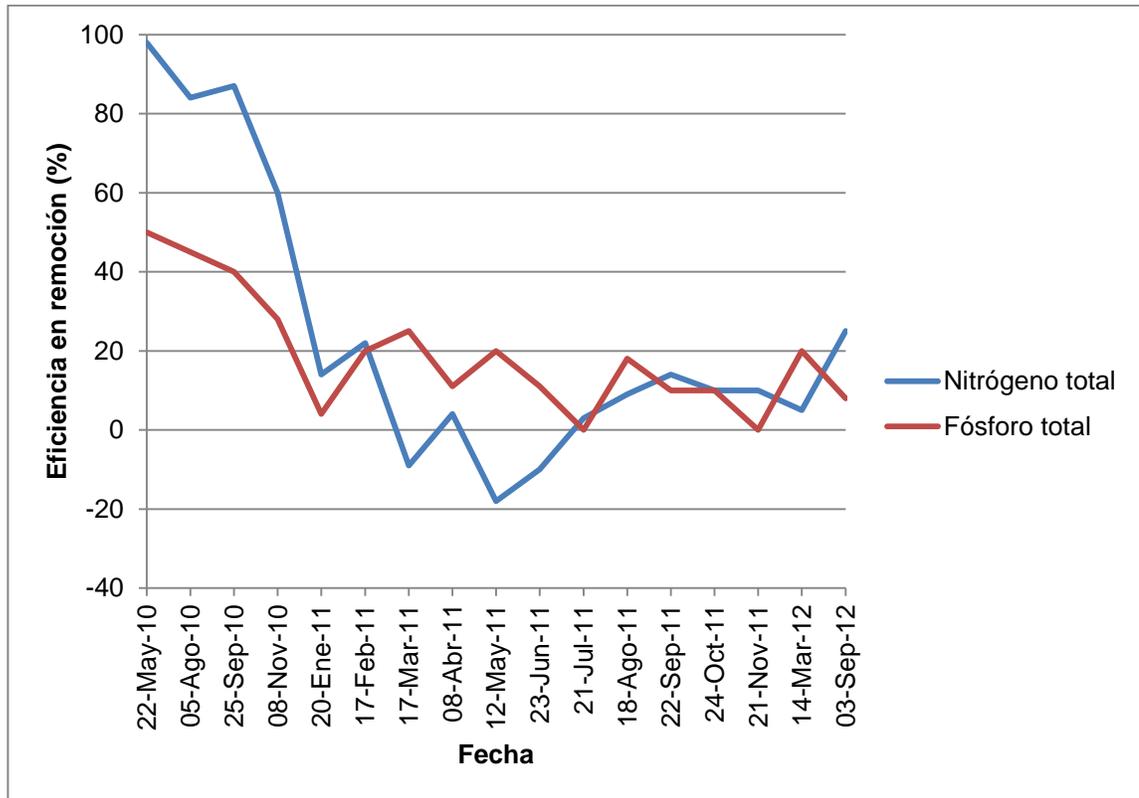
Tabla XXII. Eficiencia del sistema para remoción de nutrientes

fecha	NITRÓGENO			FÓSFORO		
	Ingreso	salida	eficiencia	Ingreso	salida	Eficiencia
22-may-10	20	0,5	98 %	10	5	50 %
05-ago-10	5,1	0,80	84 %	9,1	5	45 %
25-sep-10	7	0,90	87 %	10	6	40 %
08-nov-10	9,5	3,80	60 %	8,5	6,1	28 %
20-ene-11	10	8,60	14 %	5,6	5,4	4 %
17-feb-11	8,9	6,90	22 %	10,8	8,6	20 %
17-mar-11	22	24	-9 %	8	6	25 %
08-abr-11	20	19,2	4 %	9	8	11 %
12-may-11	22	26	-18 %	10	8	20 %
23-jun-11	21	23	-10 %	9	8	11 %
21-jul-11	20	19,5	3 %	10	10	0 %
18-ago-11	22	20	9 %	11	9	18 %
22-sep-11	21	18	14 %	10	9	10 %
24-oct-11	20	18	10 %	10	9	10 %
21-nov-11	21	19	10 %	10	10	0 %
14-mar-12	21	20	5 %	12,5	10	20 %
03-sep-12	187	140	25 %	5,34	4,89	8 %

época de lluvia
  época seca

Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por la URL.

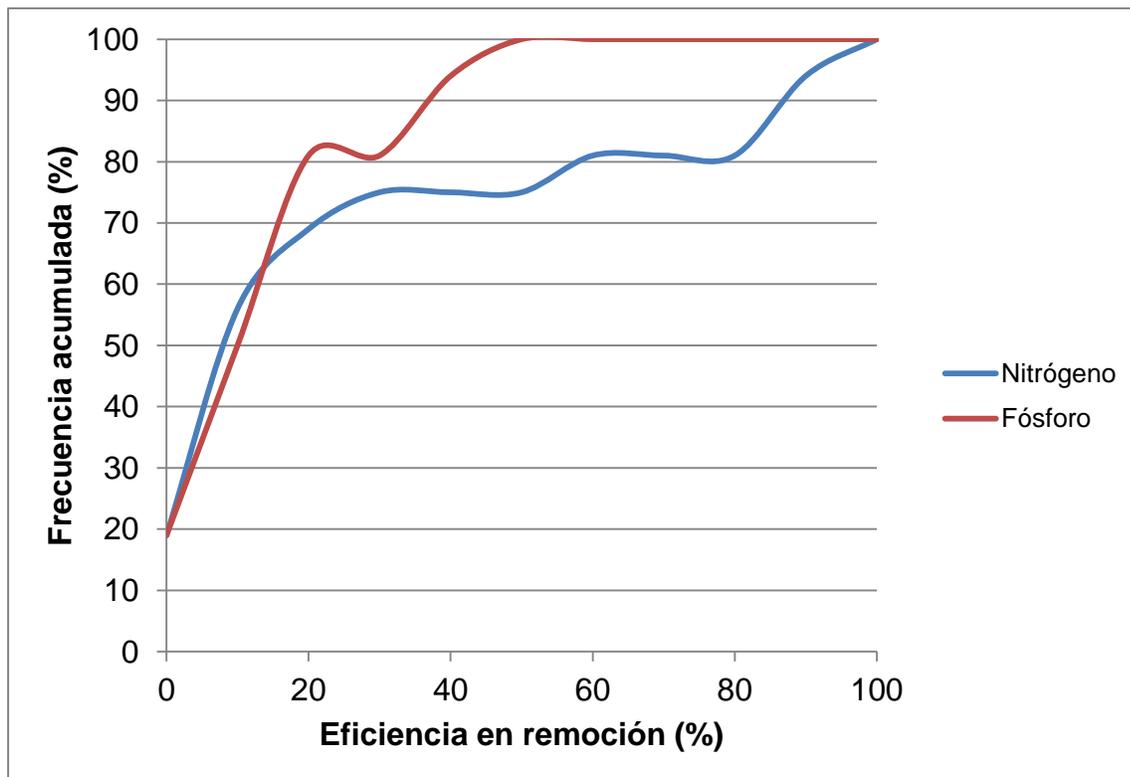
Figura 18. **Eficiencia en la remoción de nutrientes**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de la URL.

Como se observa en la figura 18, la eficiencia en la remoción de nutrientes es muy baja. Al inicio, cuando empezó a operar la planta de tratamiento, la eficiencia en la remoción de los nutrientes fue relativamente alta, pues durante el período de estabilización, los microorganismos que se encuentran en su fase de crecimiento logarítmica requieren una gran cantidad de nutrientes para poder desarrollarse. Una vez estabilizada la planta, la eficiencia en la remoción de nutrientes disminuyó significativamente, pues las colonias microbianas pasaron de la fase de crecimiento logarítmica a una con un ritmo mucho menor.

Figura 19. **Eficiencia en la remoción de nutrientes, curva de frecuencia acumulada**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de la URL.

Aproximadamente el 80 % de los datos tienen eficiencias menores al 30 % en la remoción de nutrientes, por lo que puede decirse que la planta de tratamiento no cuenta con ningún sistema eficiente en la remoción de nutrientes del agua.

### 3.6.4. Metales pesados

Los metales pesados evaluados en el ingreso y salida del agua del sistema de tratamiento son cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc. A continuación se presentan los resultados del análisis.

Tabla XXIII. Mediciones de metales pesados

fecha	CADMIO (mg/l)		COBRE (mg/l)		MERCURIO (mg/l)	
	Ingreso	salida	Ingreso	salida	Ingreso	salida
25-sep-10	0,05	0,05	0,005	0,005	0,005	0,0005
8-abr-11	0,05	0,05	0,005	0,005	0,0005	0,0005
18-ago-11	0,05	0,05	0,005	0,005	0,0005	0,0005
14-mar-12	0,05	0,05	0,005	0,005	0,0005	0,0005
3-sep-12	0,02	0,02	0,03	0,03	0,002	0,002
fecha	NÍQUEL (mg/l)		PLOMO (mg/l)		ZINC (mg/l)	
	Ingreso	salida	Ingreso	salida	Ingreso	salida
25-sep-10	0,1	0,1	0,005	0,005	0,1	0,1
8-abr-11	0,1	0,1	0,005	0,005	0,1	0,1
18-ago-11	0,1	0,1	0,005	0,005	0,1	0,1
14-mar-12	0,1	0,1	0,005	0,005	0,1	0,1
3-sep-12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de la URL.

Los datos anteriores muestran que la planta de tratamiento presenta nula remoción de metales pesados.



## 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El funcionamiento de la PTAR está condicionado por varios factores como las tareas de mantenimiento, la calidad y cantidad de agua que ingresa, entre otras cosas. La calidad del agua se ve afectada en época de invierno debido a que el colector que dirige el agua hacia la planta de tratamiento de aguas residuales es combinado, es decir que transporta en el mismo sistema de tuberías las aguas residuales y las aguas pluviales, causando la dilución de los contaminantes del agua residual que ingresa al sistema de tratamiento. La cantidad de agua que ingresa al sistema se ve afectada en época de invierno porque aumenta, a pesar de contar con un canal de demasías, y en vacaciones, cuando la población universitaria disminuye dramáticamente, también lo hace el caudal. Por lo anterior, se realizó un calendario en el que se marcaron los días de lluvia y de vacaciones que sucedieron en el período de monitoreo de la PTAR con el fin de contar con más información para la interpretación de los resultados obtenidos.

Figura 20. **Simbología utilizada en calendarios de muestreo**

SIMBOLOGÍA	
	Día en el que llovió
2,8 mm	Milímetros de lluvia en las 24 horas del día
	Indica día en el que se realizó un muestreo
VACACIONES	Inicio/fin de época de vacaciones
	Período de vacaciones

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Calendarios de muestreos**

Marzo 2014						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
						1 0 mm
2 0 mm	3 0 mm	4 0 mm	5 0 mm	6 5.6 mm 	7 0.4 mm 	8 0 mm
9 0 mm	10 0 mm	11 0 mm	12 0 mm	13 0 mm	14 0 mm	15 0 mm
16 0 mm	17 0 mm	18 0 mm	19 0 mm	20 0 mm	21 0 mm	22 0 mm
23 0 mm	24 0 mm	25 0 mm	26 0.2 mm 	27 0 mm	28 0 mm	29 0 mm
30 0 mm	31 0 mm					

Continuación de la figura 21.

Abril 2014						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
		1 0 mm	2 0 mm	3 2.8 mm 	4 2 mm 	5 1.8 mm 
6 0 mm	7 0 mm	8 0 mm	9 0 mm	10 0 mm	11 0 mm	12 0 mm
13 0 mm	14 0 mm	15 0 mm	16 0.6 mm 	17 0 mm	18 0.4 mm 	19 0 mm
20 0 mm	21 0 mm	22 0 mm	23 0 mm	24 0.2 mm 	25 0 mm	26 0 mm
27 0 mm	28 0 mm	29 0 mm	30 24.4 mm 			

Continuación de la figura 21.

Mayo 2014						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
				1 2.8 mm  FERIADO NACIONAL	2 29.8 mm 	3 4.8 mm 
4 0 mm	5 0 mm	6 0 mm	7 0 mm	8 0 mm ULTIMO DIA DE CLASES	9 0.4 mm 	10 0 mm
11 5.2 mm 	12 14.0 mm 	13 42.8 mm 	14 0 mm	15 0 mm	16 0 mm	17 0 mm
18 0 mm	19 0 mm	20 0 mm	21 5.2 mm 	22 3.6 mm 	23 0.4 mm 	24 0 mm
25 0.2 mm 	26 0 mm	27 0 mm INICIO CLASES	28 2.8 mm 	29 23.8 mm 	30 13.8 mm 	31 11 mm 

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1. Eficiencia de la PTAR

A continuación se detallan los pasos que se tomaron para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de la Universidad Rafael Landívar.

#### 4.1.1. Caudal

Se realizó una medición de caudal por medio de un medidor automático que, al graduar el flujo del agua por medio de un vertedero, registra las variaciones en el nivel de agua. Las mediciones se programaron cada 15 minutos durante 24 horas y se inició el jueves 3 de abril a las 13:30 horas. A continuación la curva de caudal y los resultados de la medición.

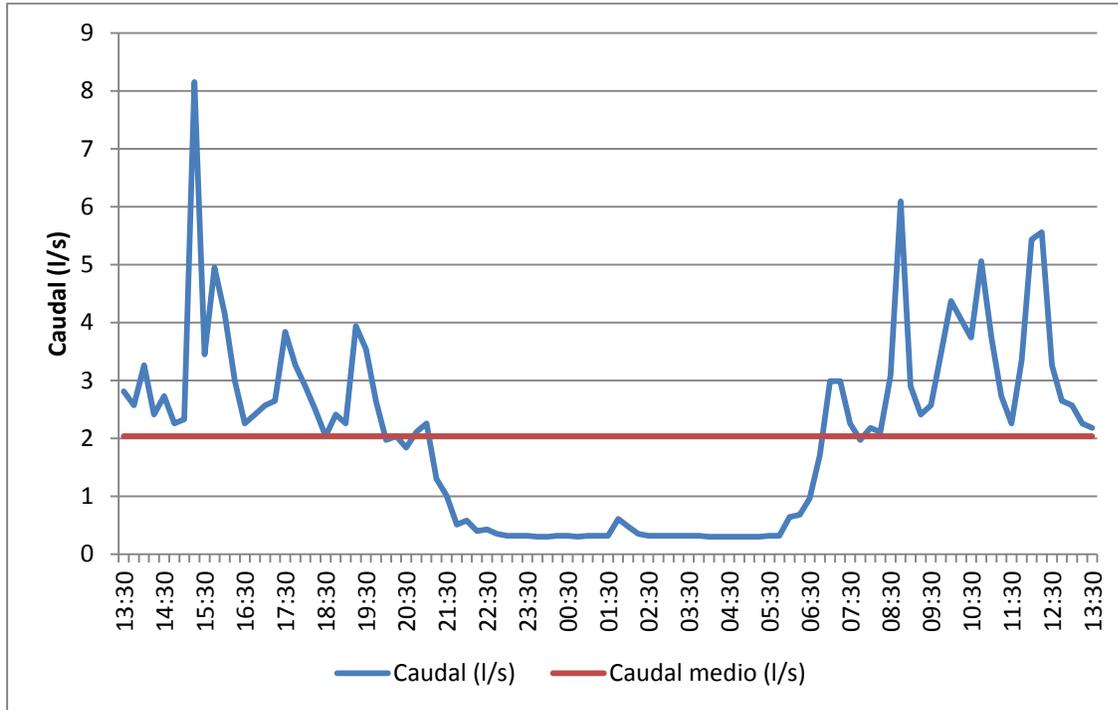
Tabla XXIV. Mediciones de caudal

Caudal promedio	2,036	l/s
Caudal máximo	8,15	l/s
Caudal mínimo	0,3	l/s
Caudal día	175 540,50	l/día

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que de las 15:00 a las 15:30 del 3 de abril se registraron 2,8 mm de lluvia, y que de las 17:15 a las 17:30 del 4 de abril se registraron 2 mm de lluvia.

Figura 22. Caudal de ingreso a la PTAR



Fuente: elaboración propia.

De la medición del caudal se establecieron los parámetros hidráulicos bajo los cuales están trabajando las distintas unidades de tratamiento de la PTAR. En el caso de los sedimentadores primario y secundario, se estableció el tiempo de residencia hidráulica, tomando en cuenta el volumen de cada unidad; en el caso del filtro percolador, se estableció la carga hidráulica, considerando el área superficial del filtro. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla XXV. **Parámetros hidráulicos de trabajo de sedimentador y filtro percolador**

Sedimentador		
Volumen	70,07	m <sup>3</sup>
Área superficial	19,53	m <sup>2</sup>
Caudal día	175,54	m <sup>3</sup> /día
TRH	9,58	Horas
Carga superficial	9,00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día

Filtro percolador		
Área superficial	148,75	m <sup>2</sup>
Volumen	223,12	m <sup>3</sup>
Caudal día	175,54	m <sup>3</sup> /día
Carga hidráulica	1,18	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Carga orgánica	0,32	KgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /día

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Calidad del agua

Se evaluó la calidad de agua que ingresa y sale del sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario. A continuación el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla XXVI. **Puntos de muestreo**

Puntos de muestreo	
Ingreso al sedimentador primario	S1-E
Salida del sedimentador primario	S1-S
Salida del filtro percolador	FP-S
Salida del sedimentador secundario	S2-S

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Resultados obtenidos de los análisis de laboratorio**

Parámetro	Unidad	20-mar-14			
		S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	373	369	268	273
DBO5	mg/l	284	304	236	263
N total	mg/l	103	132	115	11
P total	mg/l	FR	FR	FR	FR
TSS	mg/l	ND	ND	ND	ND
pH	unidades	8,45	7,74	7,9	7,72
Solidos disueltos	mg/l	503	513	501	521
Temperatura	°C	23,2	22,6	21,8	21,9
Conductividad eléctrica	µS/cm	949	968	945	983
Color	U. pt-cb	284	280	260	240
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	7,70E+05
Turbiedad	UNT	92,9	90,6	82,8	70

Continuación de la tabla XXVII.

		27-mar-14			
Parámetro	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	550	300	203	152
DBO5	mg/l	277	175,5	92,4	148,75
N total	mg/l	85	72	71	78
P total	mg/l	7	6,2	7,8	6,8
TSS	mg/l	208,1	88	63,9	48
pH	unidades	8,25	7,83	7,79	7,65
Solidos disueltos	mg/l	504	489	477	522
Temperatura	°C	26,7	26,7	26,4	26,6
Conductividad eléctrica	µS/cm	950	922	900	984
Color	U. pt-cb	318	276	200	172
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	FR
Turbiedad	UNT	112	74	47,9	39

		03-abr-14			
Parámetro	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	590	470	281	277
DBO5	mg/l	207	206	134	119
N total	mg/l	230	207	205	199
P total	mg/l	6,8	9	11,9	9,3
TSS	mg/l	197,0	100	84	69,0
pH	unidades	8,4	7,59	7,74	7,62
Solidos disueltos	mg/l	ND	ND	ND	ND
Temperatura	°C	27,2	27,3	27,5	27
Conductividad eléctrica	µS/cm	ND	ND	ND	ND
Color	U. pt-cb	201	119	107	89
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	FR
Turbiedad	UNT	104	54	58,8	40,7

Continuación de la tabla XXVII.

		24-abr-14			
Parámetro	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	620	580	226	172
DBO5	mg/l	162,25	166,5	127	122
N total	mg/l	74	85	70	65
P total	mg/l	5,3	6,1	6,1	6
TSS	mg/l	134,3	82	66,2	38
pH	unidades	7,7	7,05	7,34	7,33
Solidos disueltos	mg/l	445	494	466	475
Temperatura	°C	27,2	26,4	26,3	26,1
Conductividad eléctrica	µS/cm	840	933	879	897
Color	U. pt-cb	348	271	231	198
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	FR
Turbiedad	UNT	93,8	60,2	52,6	42

		08-may-14			
Parámetro	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	480	380	344	237
DBO5	mg/l	282	269	218	152,5
N total	mg/l	78	67	48	57
P total	mg/l	2,5	2,06	1,94	1,78
TSS	mg/l	240,9	68,9	122,7	50
pH	unidades	8,17	7,24	7,71	7,54
Solidos disueltos	mg/l	401	458	434	433
Temperatura	°C	24,9	24,8	24,8	24,8
Conductividad eléctrica	µS/cm	756	864	818	817
Color	U. pt-cb	473	261	246	193
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	7,40E+05
Turbiedad	UNT	165	67	82,4	47,8

Continuación de la tabla XXVII.

		15-may-14			
Parámetro	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	640	250	188	126
DBO5	mg/l	492	165	184	161,04
N total	mg/l	3,4	3,4	3,2	2,2
P total	mg/l	1,8	1,32	1,4	1,02
TSS	mg/l	314,8	55	86,6	39
pH	unidades	6,84	6,74	7,15	7,12
Solidos disueltos	mg/l	287	318	297	259
Temperatura	°C	24,8	24,7	24,7	24,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	541	600	560	489
Color	U. pt-cb	415	186	157	126
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	1,85E+07
Turbiedad	UNT	157	41,8	59,8	26,8

		22-may-14			
Parámetro	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	540	470	191	172
DBO5	mg/l	598	280	183,5	218,5
N total	mg/l	ND	ND	ND	103
P total	mg/l	1,58	1,56	1,54	1,5
TSS	mg/l	129,3	66,0	80,9	37
pH	unidades	7,05	6,81	7,25	7,13
Solidos disueltos	mg/l	332	331	312	363
Temperatura	°C	26,4	26,3	26,2	26,2
Conductividad eléctrica	µS/cm	626	624	589	684
Color	U. pt-cb	199	154	121	167
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	7,40E+05
Turbiedad	UNT	98,2	58,1	65,3	39

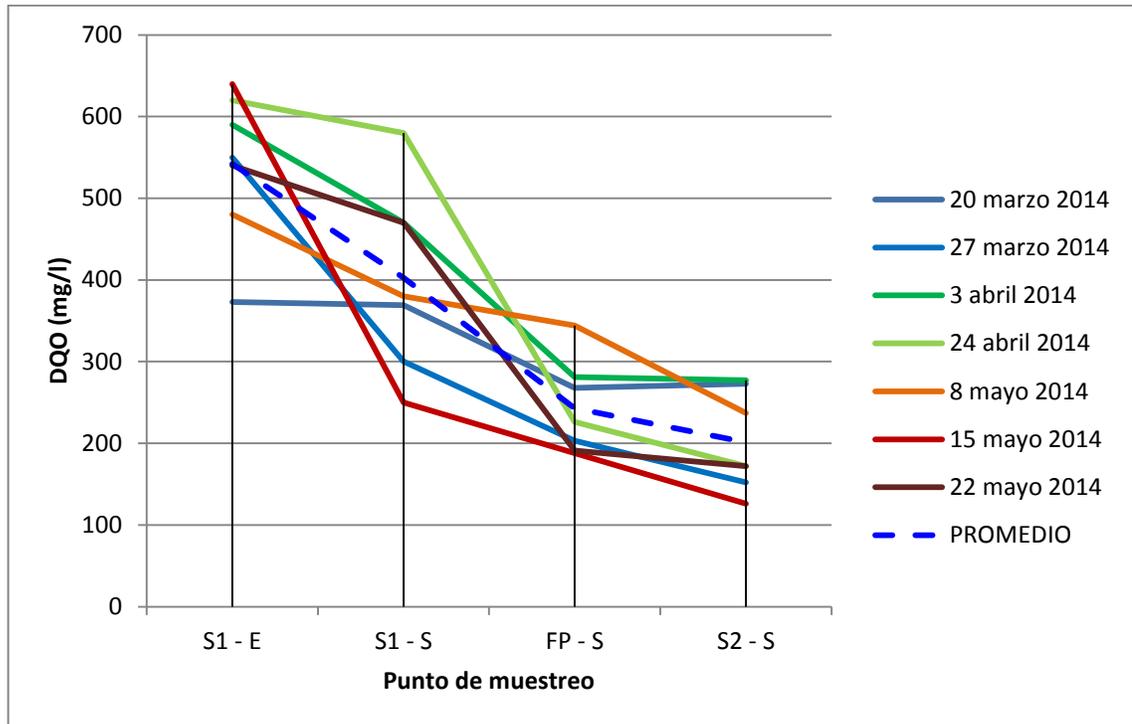
Continuación de la tabla XXVII.

Parámetro	Unidad	PROMEDIO			
		S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S
DQO	mg/l	541,86	402,71	243,00	201,29
DBO5	mg/l	328,89	223,71	167,84	169,26
N total	mg/l	95,57	94,40	85,37	73,60
P total	mg/l	4,16	4,37	5,11	4,40
TSS	mg/l	204,06	76,64	84,05	46,83
pH	unidades	7,84	7,29	7,55	7,44
Sólidos disueltos	mg/l	411,81	433,81	414,37	428,77
Temperatura	°C	25,77	25,54	25,39	25,29
Conductividad eléctrica	µS/cm	777,00	818,50	781,83	809,00
Color	U. pt-cb	319,71	221,00	188,86	169,29
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	5,19E+06
Turbiedad	UNT	117,56	63,67	64,23	43,61

ND	No determinado
FR	Fuera de rango

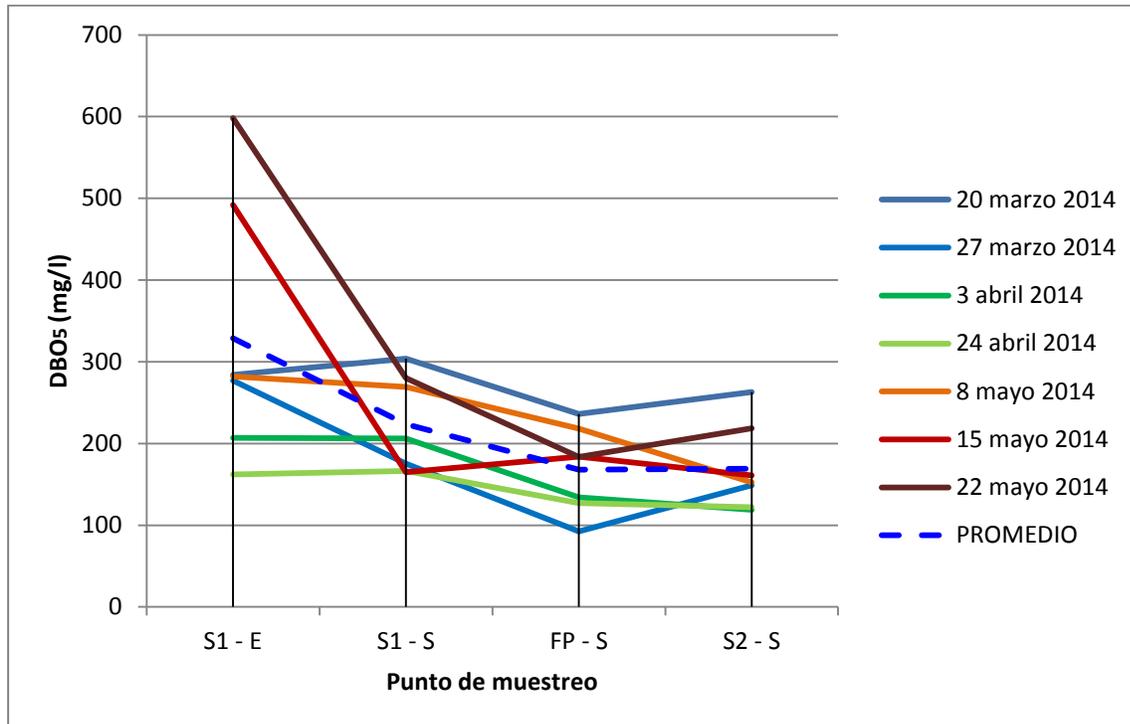
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Resultados obtenidos de DQO



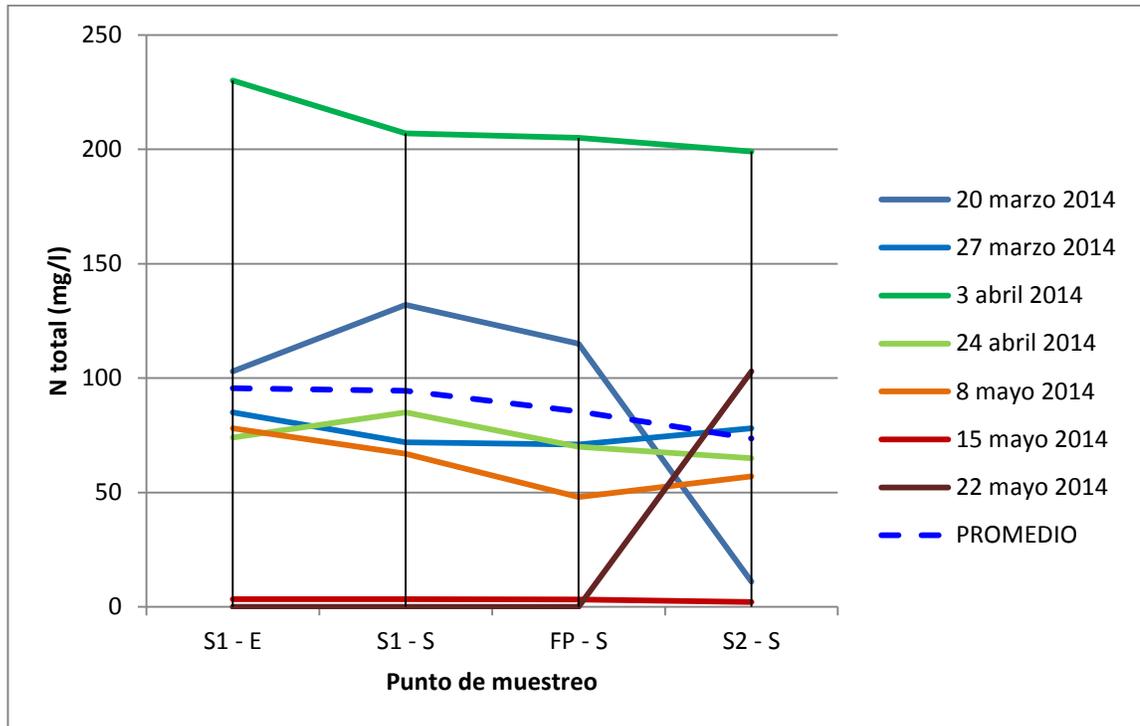
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Resultados obtenidos de DBO<sub>5</sub>



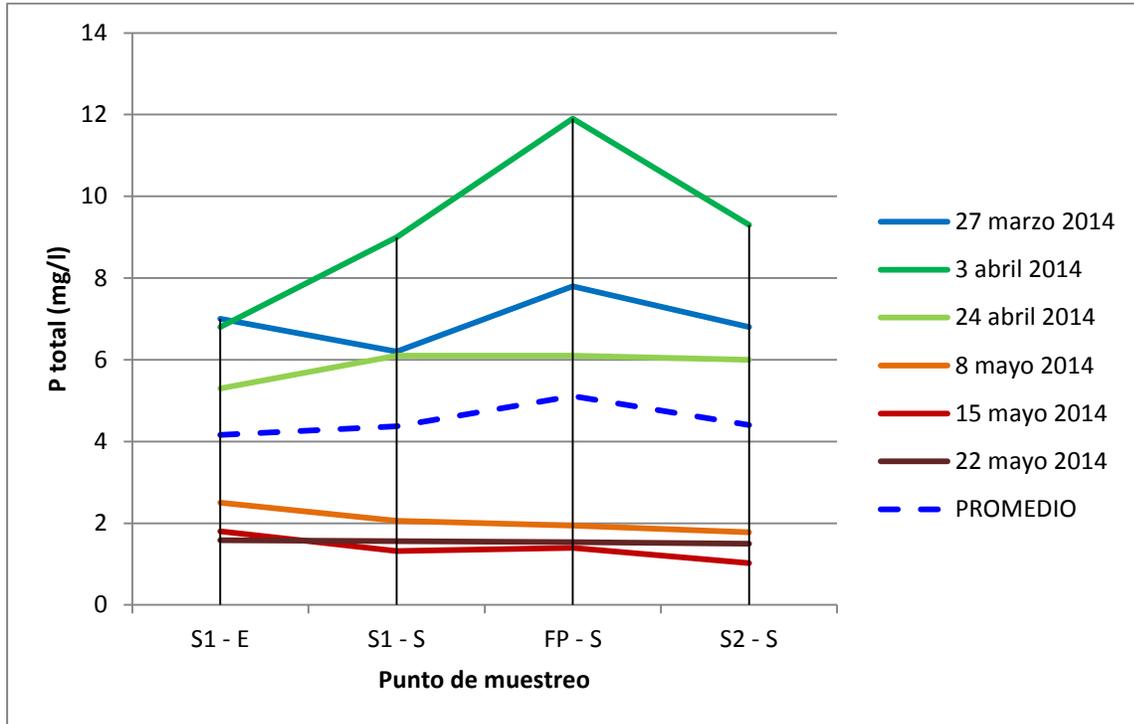
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Resultados obtenidos de nitrógeno total



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Resultados obtenidos de fósforo total



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. Eficiencia del sistema de tratamiento

Los resultados obtenidos de cada análisis de calidad del agua fueron tabulados en un cuadro en Microsoft Excel para estimar la eficiencia de remoción de cada parámetro para cada unidad de tratamiento. A continuación se presentan los resultados

Tabla XXVIII. Eficiencias del sistema de tratamiento

		20-mar-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	1,1 %	27,4 %	-1,9 %	26,8 %
DBO5	mg/l	-7,0 %	22,4 %	-11,4 %	7,4 %
N total	mg/l	-28,2 %	12,9 %	90,4 %	89,3 %
P total	mg/l	ND	ND	ND	ND
TSS	mg/l	ND	ND	ND	ND
Solidos disueltos	mg/l	-2,0 %	2,4 %	-4,0 %	-3,6 %
Conductividad eléctrica	μS/cm	-2,0 %	2,4 %	-4,0 %	-3,6 %
Color	u pt-cb	1,4 %	7,1 %	7,7 %	15,5 %
Turbiedad	UNT	2,5 %	8,6 %	15,5 %	24,7 %

		27-mar-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	45,5 %	32,3 %	25,1 %	72,4 %
DBO5	mg/l	36,6 %	47,4 %	-61,0 %	46,3 %
N total	mg/l	15,3 %	1,4 %	-9,9 %	8,2 %
P total	mg/l	11,4 %	-25,8 %	12,8 %	2,9 %
TSS	mg/l	57,7 %	27,4 %	24,9 %	76,9 %
Solidos disueltos	mg/l	2,9 %	2,4 %	-9,3 %	-3,6 %
Conductividad eléctrica	μS/cm	2,9 %	2,4 %	-9,3 %	-3,6 %
Color	u pt-cb	13,2 %	27,5 %	14,0 %	45,9 %
Turbiedad	UNT	33,9 %	35,3 %	18,6 %	65,2 %

Continuación de la tabla XXVIII.

		03-abr-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	20,3 %	40,2 %	1,4 %	53,1 %
DBO5	mg/l	0,5 %	35,0 %	11,2 %	42,5 %
N total	mg/l	10,0 %	1,0 %	2,9 %	13,5 %
P total	mg/l	-32,4 %	-32,2 %	21,8 %	-36,8 %
TSS	mg/l	49,2 %	16,0 %	17,9 %	65,0 %
Solidos disueltos	mg/l	ND	ND	ND	ND
Conductividad eléctrica	μS/cm	ND	ND	ND	ND
Color	u pt-cb	40,8 %	10,1 %	16,8 %	55,7 %
Turbiedad	UNT	48,1 %	-8,9 %	30,8 %	60,9 %

		24-abr-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	6,5 %	61,0 %	23,9 %	72,3 %
DBO5	mg/l	-2,6 %	23,7 %	3,9 %	24,8 %
N total	mg/l	-14,9 %	17,6 %	7,1 %	12,2 %
P total	mg/l	-15,1 %	0,0 %	1,6 %	-13,2 %
TSS	mg/l	38,9 %	19,2 %	42,6 %	71,7 %
Solidos disueltos	mg/l	-11,1 %	5,8 %	-2,0 %	-6,8 %
Conductividad eléctrica	μS/cm	-11,1 %	5,8 %	-2,0 %	-6,8 %
Color	u pt-cb	22,1 %	14,8 %	14,3 %	43,1 %
Turbiedad	UNT	35,8 %	12,6 %	20,2 %	55,2 %

Continuación de la tabla XXVIII.

		08-may-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	20,8 %	9,5 %	31,1 %	50,6 %
DBO5	mg/l	4,6 %	19,0 %	30,0 %	45,9 %
N total	mg/l	14,1 %	28,4 %	-18,8 %	26,9 %
P total	mg/l	17,6 %	5,8 %	8,2 %	28,8 %
TSS	mg/l	71,4 %	-78,2 %	59,3 %	79,2 %
Solidos disueltos	mg/l	-14,3 %	5,3 %	0,1 %	-8,1 %
Conductividad eléctrica	μS/cm	-14,3 %	5,3 %	0,1 %	-8,1 %
Color	u pt-cb	44,8 %	5,7 %	21,5 %	59,2 %
Turbiedad	UNT	59,4 %	-23,0 %	42,0 %	71,0 %

		15-may-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	60,9 %	24,8 %	33,0 %	80,3 %
DBO5	mg/l	66,5 %	-11,5 %	12,5 %	67,3 %
N total	mg/l	0,0 %	5,9 %	31,3 %	35,3 %
P total	mg/l	26,7 %	-6,1 %	27,1 %	43,3 %
TSS	mg/l	82,5 %	-57,4 %	54,9 %	87,6 %
Solidos disueltos	mg/l	-10,9 %	6,7 %	12,7 %	9,6 %
Conductividad eléctrica	μS/cm	-10,9 %	6,7 %	12,7 %	9,6 %
Color	u pt-cb	55,2 %	15,6 %	19,7 %	69,6 %
Turbiedad	UNT	73,4 %	-43,1 %	55,2 %	82,9 %

Continuación de la tabla XXVIII.

		22-may-14			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	13,0%	59,4%	9,9%	68,1%
DBO5	mg/l	53,2%	34,5%	-19,1%	63,5%
N total	mg/l	ND	ND	ND	ND
P total	mg/l	1,3%	1,3%	2,6%	5,1%
TSS	mg/l	48,9%	-22,5%	54,2%	71,4%
Solidos disueltos	mg/l	0,3%	5,6%	-16,1%	-9,3%
Conductividad eléctrica	μS/cm	0,3%	5,6%	-16,1%	-9,3%
Color	u pt-cb	22,6%	21,4%	-38,0%	16,1%
Turbiedad	UNT	40,8%	-12,4%	40,3%	60,3%

		PROMEDIO			
Parámetro	Unidad	S1	FP	S2	Global
DQO	mg/l	24,0%	36,4%	17,5%	60,5%
DBO5	mg/l	21,7%	24,3%	-4,8%	42,5%
N total	mg/l	-0,6%	11,2%	17,2%	30,9%
P total	mg/l	1,6%	-9,5%	12,4%	5,0%
TSS	mg/l	58,1%	-15,9%	42,3%	75,3%
Solidos disueltos	mg/l	-5,8%	4,7%	-3,1%	-3,6%
Conductividad eléctrica	μS/cm	-5,8%	4,7%	-3,1%	-3,6%
Color	u pt-cb	28,6%	14,6%	8,0%	43,6%
Turbiedad	UNT	42,0%	-4,4%	31,8%	60,0%

S1= Sedimentador primario, FP=filtro percolador, S2=sedimentador secundario

Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Calidad del efluente para su reúso en riego**

Se realizaron dos análisis para establecer si la calidad del efluente es apta para su reúso en riego de jardines en el campus central de la Universidad Rafael Landívar.

### **4.2.1. Análisis fitotoxicológico**

Se realizó el análisis fitotoxicológico mediante el kit estandarizado Phytotoxkit, en el cual se utilizan 3 tipos de semillas para establecer si existe algún tipo de inhibición en la germinación de las semillas al utilizar agua residual tratada en la PTAR de la URL. Las semillas utilizadas fueron:

- *Lepidium sativum* (LES) que es una dicotiledónea de grama de jardín
- *Sinapis alba* (SIA) que es una dicotiledónea de mostaza
- *Sorghum saccharatum* (SOS) que es una monocotiledónea de Sorgho

Para cada tipo de semilla se realizaron 30 siembras para las semillas de control regadas con agua destilada y 30 siembras para las semillas a las que se le regó con agua tratada.

A continuación los resultados obtenidos (ver apéndice 4, con fotografías de la germinación y el crecimiento de algunas de las semillas)

Tabla XXIX. **Crecimiento de la semilla *Lepidium sativum***

Lepidium sativum (Dicotyl Grama de jardín)				
RIEGO CON AGUA DESTILADA (CONTROL)				
Número de corrida	LES Control 1 Longitud (mm)	LES Control 2 Longitud (mm)	LES Control 3 Longitud (mm)	
1	4,63	43,57	57,94	
2	17,64	54,58	1,86	
3	4,09	57,51	60,88	
4	51,12	11,93	13,25	
5	24,76	34,56	54,73	
6	22,39	13,49	41,4	
7	53,87	57,54	51,76	
8	54,91	51,07	61,23	
9	54,37	54,34	60,53	
10	18,88	56,67	49,33	Media
Germinaciones	10	10	10	10
Media	30,666	43,526	45,291	39,83
Des. Estándar	20,82	17,77	20,99	
VC %	67,9	40,82	46,34	
Raíz de mayor	54,91	57,54	61,23	57,89
RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA DE URL				
Número de corrida	LES A.R. 1 Longitud (mm)	LES A.R. 2 Longitud (mm)	LES A.R. 3 Longitud (mm)	
1	43,15	61,75	1,76	
2	60,56	1,21	29,94	
3	64,02	14,3	54,91	
4	64,74	54,94	44,23	
5	56,79	58,88	46,66	
6	65,87	51,28	44,96	
7	53,68	59,5	56,33	
8	60,43	54,29	48,48	
9	52,14	54,47	53,29	
10	50,44	40,92	52,32	Media
Germinaciones	10	10	10	10
Media	57,182	45,154	43,288	48,54
Des. Estándar	7,31	20,75	16,44	
VC %	12,79	45,95	37,97	
Raíz de mayor	65,87	61,75	56,33	61,32

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Crecimiento de la semilla *Sinapis alba***

Sinapis Alba (Dicotyl Mostaza)				
RIEGO CON AGUA DESTILADA (CONTROL)				
Número de corrida	SIA Control 1 Longitud (mm)	SIA Control 2 Longitud (mm)	SIA Control 3 Longitud (mm)	
1	62,25	49,93	61,84	
2	5,72	53,17	73,57	
3	56,44	55,73	74,48	
4	67,41	59,53	25,17	
5	57,84	61,7	77,35	
6	43,68	73,43	81,33	
7	58,99	61,52	77,62	
8	56,64	60,44	79,66	
9	17,8	59,81	1,86	
10	49,42	70,28	62,24	Media
Germinaciones	10	10	10	10
Media	47,619	60,554	61,512	56,56
Des. Estándar	20,17	7,11	26,72	
VC %	42,36	11,74	43,44	
Raíz de mayor	67,41	73,43	81,33	74,06
RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA DE URL				
Número de corrida	SIA A.R. 1 Longitud (mm)	SIA A.R. 2 Longitud (mm)	SIA A.R. 3 Longitud (mm)	
1	39,38	63,9	44,62	
2	52,9	66,73	65,29	
3	79,72	78,04	59,02	
4	53,42	76,28	71,46	
5	60,39	51,8	60,52	
6	67,43	82,84	1,19	
7	64,3	60,02	69,38	
8	60,35	52,55	53,47	
9	63,87	63,91	43,34	
10	73,46	33,29	34,16	Media
Germinaciones	10	10	10	10
Media	61,522	62,936	50,245	58,23
Des. Estándar	11,33	14,67	21,03	
VC %	18,41	23,32	41,85	
Raíz de mayor	79,72	82,84	71,46	78,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Crecimiento de la semilla *Sorghum saccharatum***

Sorghum saccharatum (Monocotyl Sorgho)				
RIEGO CON AGUA DESTILADA (CONTROL)				
Número de corrida	SOS Control 1 Longitud (mm)	SOS Control 2 Longitud (mm)	SOS Control 3 Longitud (mm)	
1	50,86	1,72	38,98	
2	25,35	43,05	53,95	
3	52,1	26,33	60,38	
4	31,18	27,1	36,44	
5	55,26	46,42	41,98	
6	41,05	3,03	18,59	
7	45,03	28,81	43,74	
8	18,1	17,73	36,56	
9	36,3	38,22	17,93	
10	20,59	31,74	28,62	Media
Germinaciones	10	10	10	10
Media	37,582	26,415	37,717	33,9
Des. Estándar	13,45	15,21	13,65	
VC %	35,78	57,59	36,18	
Raíz de mayor	55,26	46,42	60,38	54,02
RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA DE URL				
Número de corrida	SOS A.R. 1 Longitud (mm)	SOS A.R. 2 Longitud (mm)	SOS A.R. 3 Longitud (mm)	
1	2,05	13,41	17,73	
2	50,5	11,09	48,27	
3	34,5	2,19	17,39	
4	40,35	7,6	36,27	
5	63	30,66	35,8	
6	71,94	33,34	30,15	
7	48,51	17,05	14,87	
8	46,42	22,39	20,81	
9	34,46	7,79	9,92	
10	47,47	13,65	20,88	Media
Germinaciones	10	10	10	10
Media	43,92	15,917	25,209	28,35
Des. Estándar	18,79	10,12	11,96	
VC %	42,77	63,61	47,43	
Raíz de mayor	71,94	33,34	48,27	51,18

Fuente: elaboración propia.

En resumen, los resultados del análisis fitotoxicológico se ven reflejados en el porcentaje de inhibición de la germinación de las semillas y en el crecimiento de la raíz en los primeros tres días.

Tabla XXXII. **Porcentajes de inhibición de crecimiento**

Tipo de semilla	Porcentaje de inhibición de crecimiento raíz de mayor longitud	Porcentaje de inhibición de crecimiento medio
<i>Lepidium sativum</i>	-5,91	-21,88
<i>Sinapis Alba</i>	-5,33	-2,96
<i>Sorghum saccharatum</i>	5,25	16,39

Fuente: elaboración propia.

Los valores negativos indican un mejor desarrollo en las semillas regadas con agua residual tratada, mientras que los valores positivos indican un menor desarrollo en relación a las semillas regadas con agua destilada.

#### 4.2.2. **Análisis RAS**

Para evaluar el efecto que el riego con agua residual tendrá en el suelo de los jardines, se realizó el análisis RAS que conlleva la determinación del contenido de calcio, magnesio y sodio en el agua que descarga el sedimentador secundario. A continuación los resultados (ver en el anexo 2 el reporte de calidad del agua).

- Datos de la muestra utilizada:

Lugar de muestreo: salida de sedimentador secundario - PTAR URL

Fecha de monitoreo: 22 de mayo de 2014

Hora de monitoreo: 07:30 a 12:30 horas.

Tipo de muestra: compuesta

Tabla XXXIII. **Resultados obtenidos de la medición de calcio, magnesio y sodio**

Análisis	Dimensional	Límite de Detección	Resultados	Método de análisis
Calcio	mg/L - Ca	0,60	19,04	STM 3111 B
Magnesio	mg/L – Mg	0,025	4,872	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0,060	29,663	STM 3111 B

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por Ecoquimsa.

- Pesos Atómicos:

Sodio: 23

Calcio: 40

Magnesio: 24

- Miliequivalentes:

$$\text{Na}^+ = \frac{29,663 \times 1}{23} = 1,29$$

$$\text{Ca}^{++} = \frac{19,04 \times 2}{40} = 0,95$$

$$\text{Mg}^{++} = \frac{4,872 \times 2}{24} = 0,41$$

- Cálculo de la razón de absorción de sodio:

$$\text{RAS} = \frac{1,29}{\frac{0,95+0,41}{2}}$$

De la fórmula anterior se obtiene un valor de RAS = 1,56 meq/L

#### **4.3. Eficiencia en la remoción de nutrientes al utilizar el agua tratada para riego**

Se realizaron pruebas para evaluar la remoción de nutrientes en una parcela experimentada con siembras de grama y una con flores chatías. Se tuvo una parcela experimental únicamente con tierra negra, como parámetro de comparación, para establecer si la remoción se daba por la filtración en la tierra o por la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas. El agua que se utilizó para el riego provino de la descarga del sedimentador secundario. A continuación los resultados obtenidos.

Tabla XXXIV. **Resultados obtenidos a la salida del sedimentador**

Día de muestreo	N total (mg/l)	P total (mg/l)	pH	Temp (°C)
27/03/2014	78	6,8	7,65	26,6
03/04/2014	199	9,3	7,62	27
24/04/2014	65	6	7,33	26,1
08/05/2014	57	1,78	7,54	24,8
15/05/2014	2,2	1,02	7,12	24,4
22/05/2014	103	1,5	7,13	26,2
29/05/2014	23,2	3,2	ND	ND

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Resultados obtenidos a la salida de la parcela experimental con flores**

Día de muestreo	N total (mg/l)	P total (mg/l)	pH	Temp (°C)
27/03/2014	1	0,4	6,83	26,5
03/04/2014	169	2,16	ND	ND
24/04/2014	33	0,2	6,7	25,8
08/05/2014	78	0,1	6,99	24,5
15/05/2014	1	0,28	6,86	24,2
22/05/2014	56	0,74	6,94	25,6
29/05/2014	14	1,6	ND	ND

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Resultados obtenidos a la salida de la parcela experimental con grama**

Día de muestreo	N total (mg/l)	P total (mg/l)	pH	Temp (°C)
27/03/2014	13	0	6,82	26,4
03/04/2014	99	2,57	ND	ND
24/04/2014	18	1	6,75	26,2
08/05/2014	0	0,16	7,24	24,7
15/05/2014	0,4	0,26	6,88	24,2
22/05/2014	ND	0,64	7,07	25,5
29/05/2014	4	1,2	ND	ND

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resultados obtenidos a la salida de la parcela experimental con tierra negra**

Día de muestreo	N total (mg/l)	P total (mg/l)	pH	Temp (°C)
27/03/2014	77	0,4	6,93	26,4
03/04/2014	180	3,04	ND	ND
24/04/2014	39	1,3	6,87	26
08/05/2014	23	0,6	7,72	24,6
15/05/2014	6,6	0,32	6,66	24,3
22/05/2014	ND	0,1	6,95	25,5
29/05/2014	63,2	0,8	ND	ND

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Eficiencia en la remoción de nutrientes en cada parcela experimental**

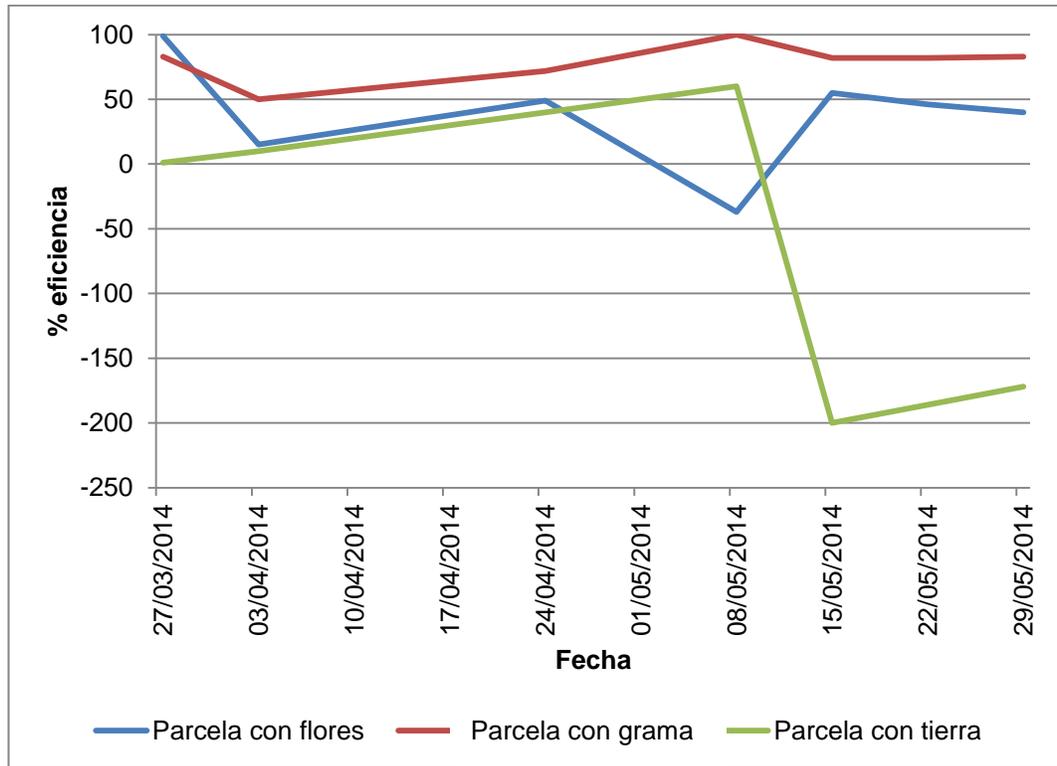
Eficiencia de remoción de nitrógeno total			
Día de muestreo	Parcela con flores	Parcela con grama	Parcela con tierra
27/03/2014	99 %	83 %	1 %
03/04/2014	15 %	50 %	10 %
24/04/2014	49 %	72 %	40 %
08/05/2014	-37 %	100 %	60 %
15/05/2014	55 %	82 %	-200 %
22/05/2014	46 %	82 %	-186 %
29/05/2014	40 %	83 %	-172 %
PROMEDIO	38 %	79 %	-64 %

Eficiencia de remoción de fósforo total			
Día de muestreo	Parcela con flores	Parcela con grama	Parcela con tierra
27/03/2014	94 %	100 %	94 %
03/04/2014	77 %	72 %	67 %
24/04/2014	97 %	83 %	78 %
08/05/2014	94 %	91 %	66 %
15/05/2014	73 %	75 %	69 %
22/05/2014	51 %	57 %	93 %
29/05/2014	50 %	63 %	75 %
PROMEDIO	76 %	77 %	78 %

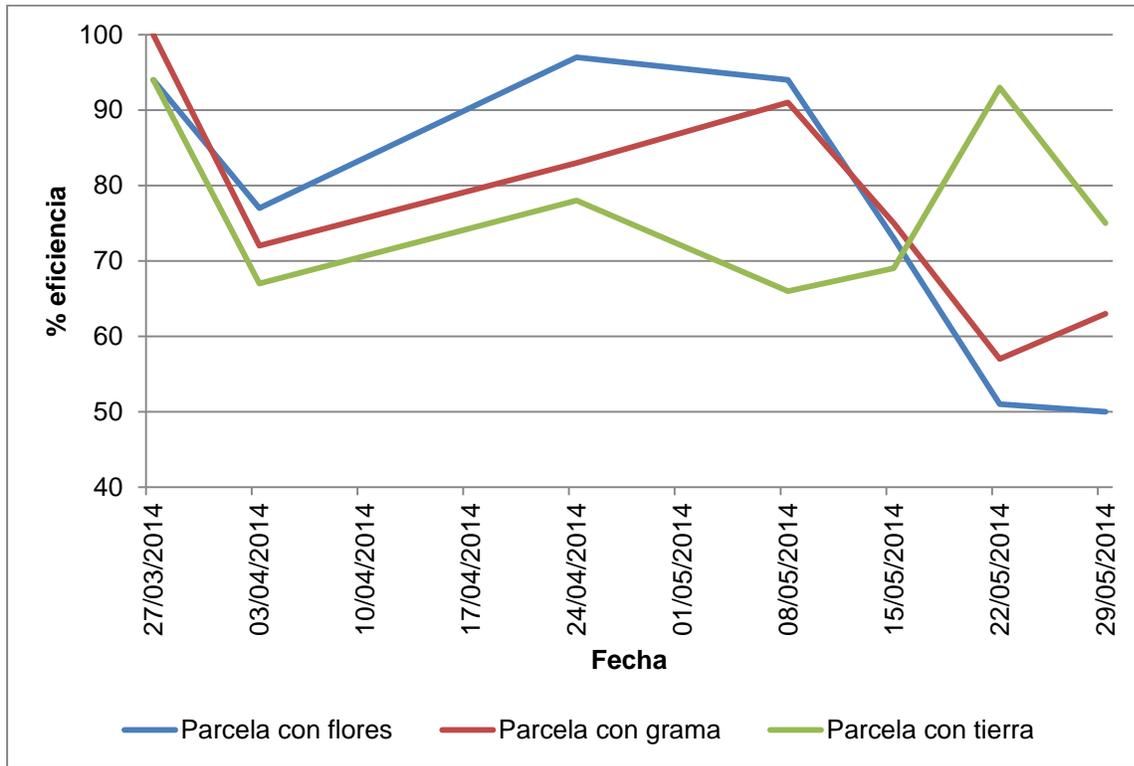
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Eficiencia en la remoción de nitrógeno total



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Eficiencia en la remoción de fósforo total



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Prediseño del sistema de riego por aspersión para las instalaciones de la URL**

El diseño del sistema de riego busca fundamentalmente garantizar el suministro del agua en las áreas de riego y que se cumpla con la demanda máxima de la grama, con el fin de lograr un apropiado desarrollo de la misma. El diseño del sistema de riego abarca dos grandes ramas que son: el diseño agronómico y el diseño hidráulico.

Debido a que el objetivo de este ejercicio es establecer la relación beneficio-costos de implementar un sistema de riego con agua residual tratada, se realizó un prediseño asumiendo que las condiciones locales de la tierra y el clima son similares a las de los mapas generales de la región. Para establecer el diseño final, se deberá hacer un levantamiento topográfico desde la PTAR hasta las áreas de jardín a regar, así como un estudio de la capacidad del suelo, la predominancia y velocidad del viento, entre otros.

##### **4.4.1. Diseño agronómico**

El diseño agronómico de un sistema de riego constituye una de las partes más importantes, ya que determina el régimen de riego del cultivo, en función de características edáficas, meteorológicas y de operación del sistema.

Figura 29. **Distribución de áreas de riego dentro del campus central de la URL**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD Land Desktop.

Para el cálculo de sistema de riego de los jardines más cercanos al área de la PTAR se consideraron los siguientes datos:

- Área de riego
  - Área 1er. tramo = 1 079,99 m<sup>2</sup>
  - Área 2do. tramo = 95,65 m<sup>2</sup>
  - Área 3er. tramo = 1 206,12 m<sup>2</sup>
  - Área 4to. tramo = 1 487,73 m<sup>2</sup>
  - Área total: 3 869,49 m<sup>2</sup> = 0,38 hectárea

Esta área equivale al 7,6 % del área que requiere riego en el campus central.

- Características edáficas y climáticas
  - Tipo de suelo = franco
  - Capacidad de campo = 23 %
  - Punto de marchitez permanente = 15 %
  - Peso específico aparente = 1,2 grs/cm<sup>3</sup>
  - Infiltración básica = 8 mm/h
  - Uso consuntivo del mes crítico = 4,1 mm/día
  
- Características técnicas
  - Porcentaje de agotamiento/Umbral de riego = 40 %
  - Eficiencia de riego = 75 %
  - Velocidad del viento = 8 km/h
  - Tiempo de riego = 12 horas
  - Profundidad de raíces = 35 cm
  
- Lámina almacenable del suelo (dt): este dato corresponde a la parte de la lámina total de agua en la capa del suelo en la que se desarrollan las raíces de los cultivos. La lámina almacenable del suelo se delimita en función de las características físicas del suelo, que determinan la capacidad de almacenamiento hasta la profundidad radicular de las plantas.

$$dt = \frac{W_{cc} - W_{pmp}}{100} * Da * Zr$$

Donde

$dt$  = lámina almacenable en el suelo, en centímetros

$W_{cc}$  = capacidad de campo, en porcentaje

$W_{pmp}$  = punto de marchitez permanente, en porcentaje

$D_a$  = densidad aparente, en gramos por centímetro cúbico

$Z_r$  = profundidad radicular del cultivo, en centímetros

Resultado:

$$dt = \frac{23 - 15}{100} * 1,2 * 35 = 3,36cm$$

- Umbral de riego: es el porcentaje de agua almacenada que se permite agotar antes de aplicar el riego. El umbral de riego depende de la sensibilidad del cultivo al fenómeno conocido como estrés hídrico y del valor económico del cultivo. Para este caso se utiliza un umbral de riego del 40 %.
- Lámina neta ( $dn$ ): es la lámina de agua a reponer en cada periodo de riego, siempre considerando el manejo del agua en el suelo a través del umbral de riego y se calcula por la siguiente ecuación.

$$dn = dt * UR$$

Donde

$dn$  = lámina neta, en centímetros

$dt$  = lámina total almacenable, en centímetros

$UR$  = umbral de riego (40 %)

Resultado:

$$dn = 3,36 * 0,40 = 1,344cm = 13,44 mm$$

- Frecuencia de riego máxima ( $Fr_{max}$ ): representa el máximo intervalo entre dos riegos consecutivos, considerando la lámina neta y la demanda evapotranspirativa para el periodo de máxima demanda.

$$Fr_{max} = \frac{dn}{ET_c}$$

Donde

Fr = frecuencia de riego máxima, en días

dn = lámina neta, en milímetros

ETc = evapotranspiración real máxima, en milímetros por día

Resultado:

$$ET_c = \frac{1500 mm/anuales}{365 dias} = 4,10mm/día^3$$

$$Fr_{max} = \frac{13,44}{4,10} = 3,28días \approx 4 días$$

---

<sup>3</sup> Atlas Hidrológico del Insivumeh.

[http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS\\_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas\\_Hidrologico/etp.jpg](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/etp.jpg).  
Consulta: julio de 2014.

- Frecuencia de riego (Fr): es el valor de frecuencia de riego que se determina dependiendo del método de riego a utilizar. La frecuencia de riego que se asume deberá ser menor o igual a la frecuencia de riego máxima.

$$Fr = 4 \text{ días}$$

- Lámina neta de riego (dnr): es la lámina neta de agua que se debe aplicar en cada riego, con el objetivo de satisfacer la demanda de agua de los cultivos durante la frecuencia de riego. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$dnr = Fr * ETc$$

Donde

dnr = lámina a aplicar en milímetros

Fr = frecuencia de riego en días

ETc = evapotranspiración real del cultivo en milímetros por día

Resultado:

$$dnr = 4 * 4,10 = 16,40 \text{ mm}$$

- Lámina bruta de riego (db): es la cantidad de agua que realmente se va aplicar considerando la eficiencia del sistema de riego. La lámina bruta de riego se calcula por la ecuación siguiente:

$$db = \frac{dn}{Ef}$$

Donde

db = Lámina bruta de riego a aplicar en milímetros

dn = Lámina neta de riego en milímetros

Ef = eficiencia de la aplicación de riego

Resultado:

$$db = \frac{16,40}{0,75} = 21,87mm.$$

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla XXXIX. **Resumen de los resultados obtenidos para el diseño de riego**

Parámetro	Valor
Lámina almacenable (mm)	3,36
Umbral de riego (%)	40
Lámina Neta (mm)	13,44
Frecuencia de riego (días)	4
Evapotranspiración máxima (mm/d)	4,1
Lámina neta de riego (mm)	16,4
Eficiencia de riego (%)	75
Lámina bruta (mm)	21,87

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Características de operación del sistema

- Selección del aspersor: el aspersor es el componente del sistema que se encarga de aplicar el agua al suelo. El tamaño del área mojada de un aspersor está en función de la presión de trabajo, del tipo de aspersor, del ángulo y diámetro de las boquillas. Para la selección del aspersor se tomaron en cuenta aspectos de mercado en cuanto a calidad y precio de los aspersores disponibles en Guatemala.

Tabla XL. **Características del aspersor**

Modelo	Hunter PGP
Presión de operación	50 PSI o 35 mca
Boquilla	6
Caudal	0,61 m <sup>3</sup> /h
Diámetro mojado	12,2 m

Fuente: elaboración propia.

- Separación entre aspersores: la separación entre laterales y aspersores se asume en función de obtener una uniformidad de riego adecuada. Debe tomarse en cuenta el factor del viento pues puede transportar las partículas de agua y no distribuir las de manera uniforme sobre el área de riego. Debido a la cercanía de los edificios a las áreas de riego, se consideró la distribución de los aspersores únicamente tomando en cuenta el diámetro mojado del aspersor el cual es igual a 12,2 m, como se muestra en la figura 30. En total se requerirán 24 aspersores.

Figura 30. **Área de influencia de los aspersores**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD Land Desktop.

- Trazo y características del sistema: el trazo propuesto para el sistema de riego por aspersión dentro de las instalaciones de la URL se realizó tomando en cuenta la distribución de las áreas de riego y buscando minimizar los quiebres en la tubería, para reducir el uso de accesorios y pérdidas por fricción. El sistema de riego propuesto es del tipo fijo, con tuberías secundarias y principales, todas en material PVC

Figura 31. **Distribución de aspersores**



Simbología:

Línea de conducción de agua      - - - - -

Ubicación de aspersores      ●

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD Land Desktop.

- Tiempo de riego ( $T_r$ ): se refiere al tiempo que se encontrará el sistema en funcionamiento.

$$T_r = \frac{A_r * d_b}{N_a * Q_a}$$

Donde

$T_r$  = tiempo de riego en horas

$A_r$  = área de riego total en metros cuadrados

$d_b$  = lámina bruta de riego en metros

$N_a$  = número de aspersores

$Q_a$  = caudal de cada aspersor en metros cúbicos por hora

Resultado:

$$Tr = \frac{3\,869,46 * 0,021}{24 * 0,61} = 5,78 \text{ horas} = 6 \text{ horas}$$

- Caudal total del sistema ( $Q_t$ ): para el cálculo del caudal del sistema, se consideró el caudal de cada aspersor multiplicado por el número de aspersores del sistema.

$$Q_t = N * Q_a$$

Donde

$Q_t$  = Caudal Total del sistema

$N$  = Numero aspersores del sistema

$Q_a$  = Caudal de cada aspersor

Resultado:

$$Q_t = 24 * 0,61 = 14,64m^3/h = 64,46 \text{ GPM}$$

#### **4.4.3. Sistema de bombeo**

- Pérdidas del sistema: para el cálculo de la pérdida de presión del sistema se consideró la longitud de la línea de distribución del agua de riego, la cantidad de accesorios y los diámetros siguientes:

Tabla XLI. **Diámetros de tuberías**

Descripción	Diámetro (en pulgadas)
Área 1	3
Área 2	2,5
Área 3	2
Área 4	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Pérdidas totales de carga**

Línea	Ø (in)	Caudal (GPM)	Longitud (ft)	Codo 90°	Codo 45°	Tee	Válvulas	Longitud equi. total (ft)	Constante pérdida de presión (ft/100ft)	Pérdida total (ft)
1	3	64,46	76,83	0	5	1	1	166,83	2,16	3,60
2	2,5	42,97	47,26	0	5	6	0	72,5	2,8	2,03
3	2	21,49	73,17	8	1	13	2	292,17	1,82	5,32
R1	2	21,49	32,01	7	0	11	1	188,51	1,82	3,43
Total pérdida (en pies)										14,38
Total pérdida (en PSI)										6,23

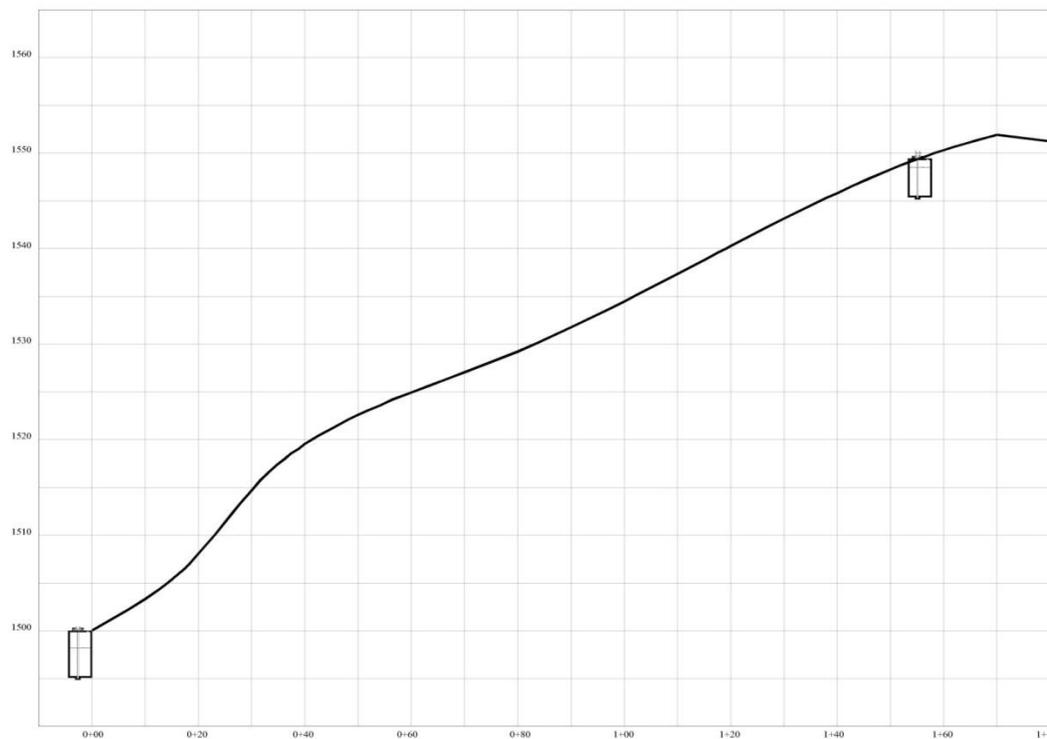
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Resumen de los resultados obtenidos para perdidas de presión**

Presión necesaria en aspersor más lejano	50	psi
Pérdida de presión por fricción	6,23	psi
Pérdida de presión por diferencia de altura	85,20	psi
Presión total necesaria	141,43	psi
Presión total necesaria	326,34	ft
Caudal total	64,46	GPM

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Perfil de ubicación de las estaciones de bombeo**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD Land Desktop.

Debido a la diferencia de alturas entre la PTAR y los jardines de riego se hace necesaria la utilización de dos estaciones de bombeo.

- Estación de bombeo 1

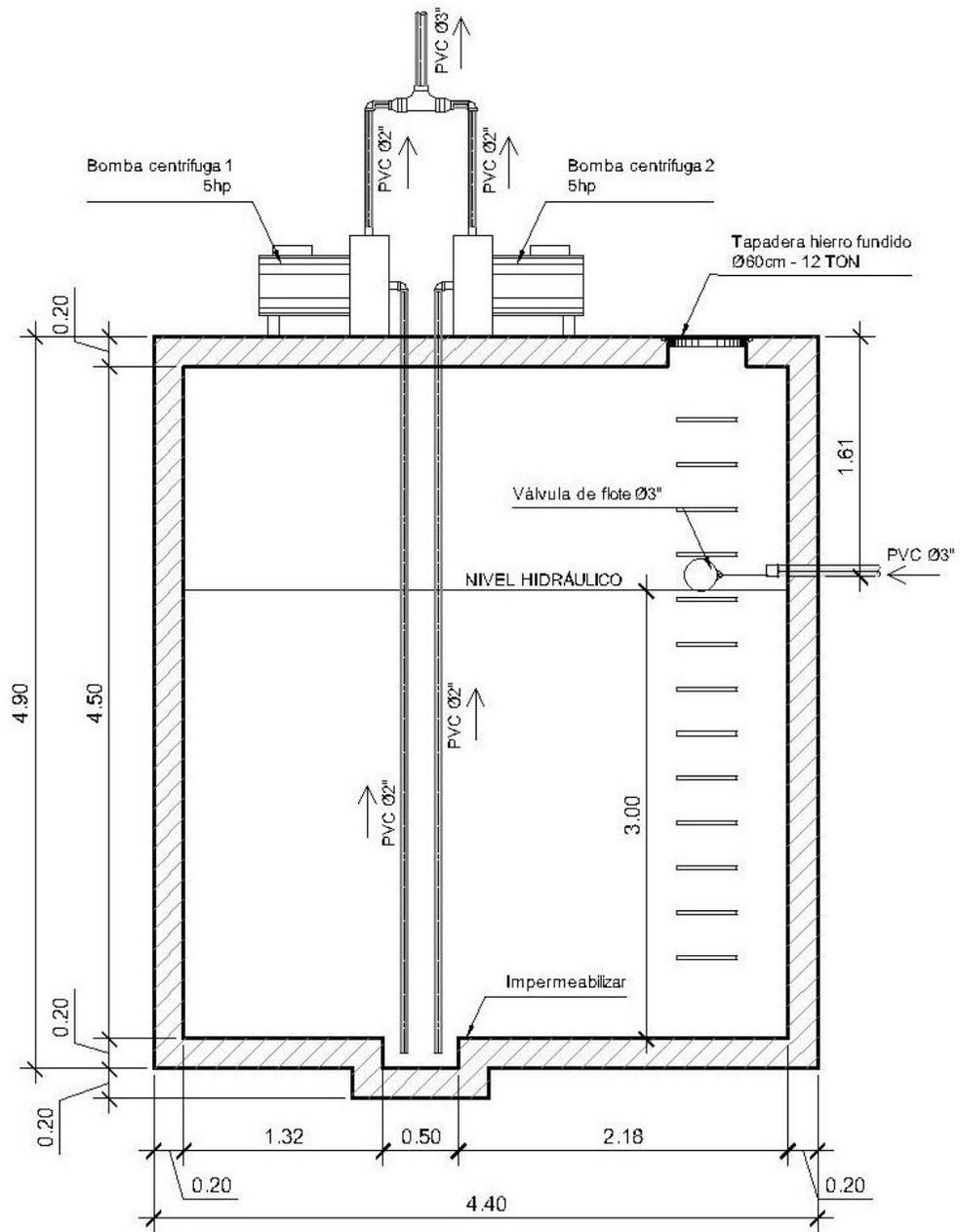
Tabla XLIV. **Dimensionamiento de estación de bombeo 1**

Caudal instantáneo a bombear	64,46	GPM
Presión necesaria	164	ft
Volumen diario a bombear	43,5	m <sup>3</sup>
Tiempo de bombeo	6	horas
Altura	3	m
Área	14,5	m <sup>2</sup>
Ancho	3,6	m
Largo	4,0	m

Fuente: elaboración propia

- Tipo de bomba: centrífuga
- Material: acero inoxidable
- Marca: Ebara
- Potencia: 5 Hp
- Energía: 3 fases 230/460v

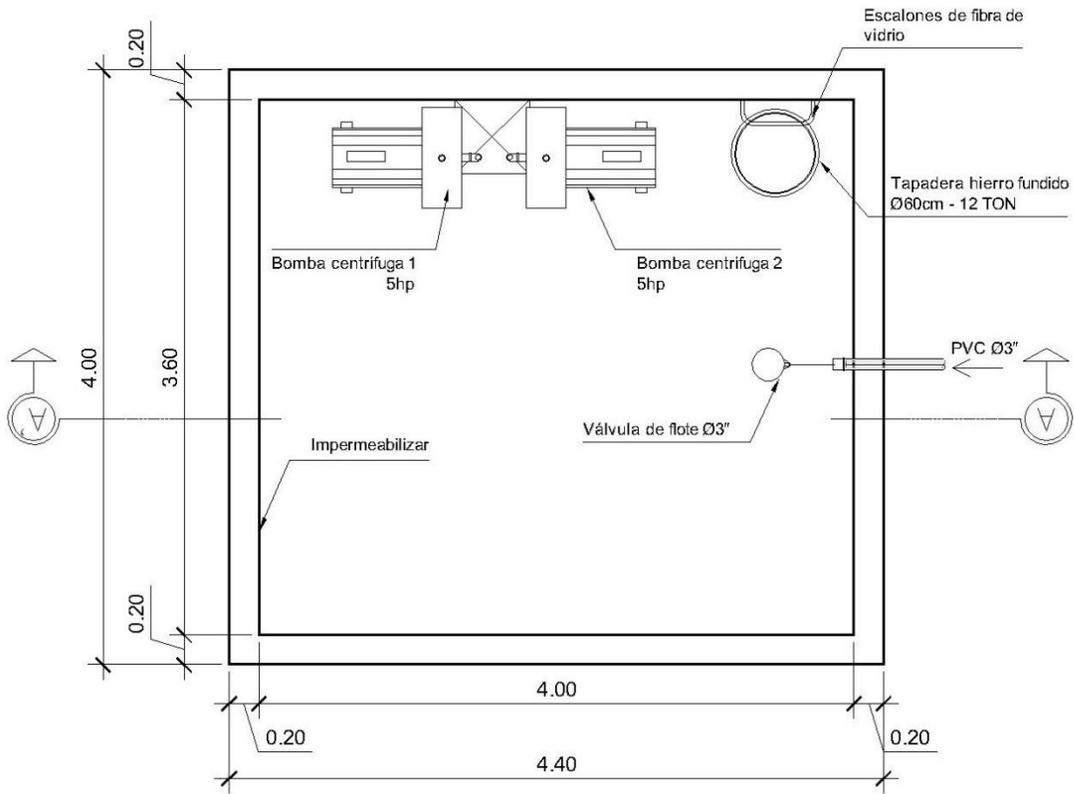
Figura 33. Estación de bombeo 1, vista en elevación



**Sección A-A'**  
Estación de bombeo 1

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

Figura 34. Estación de bombeo 1, vista en planta



Planta  
Estación de bombeo 1

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

- Estación de bombeo 2

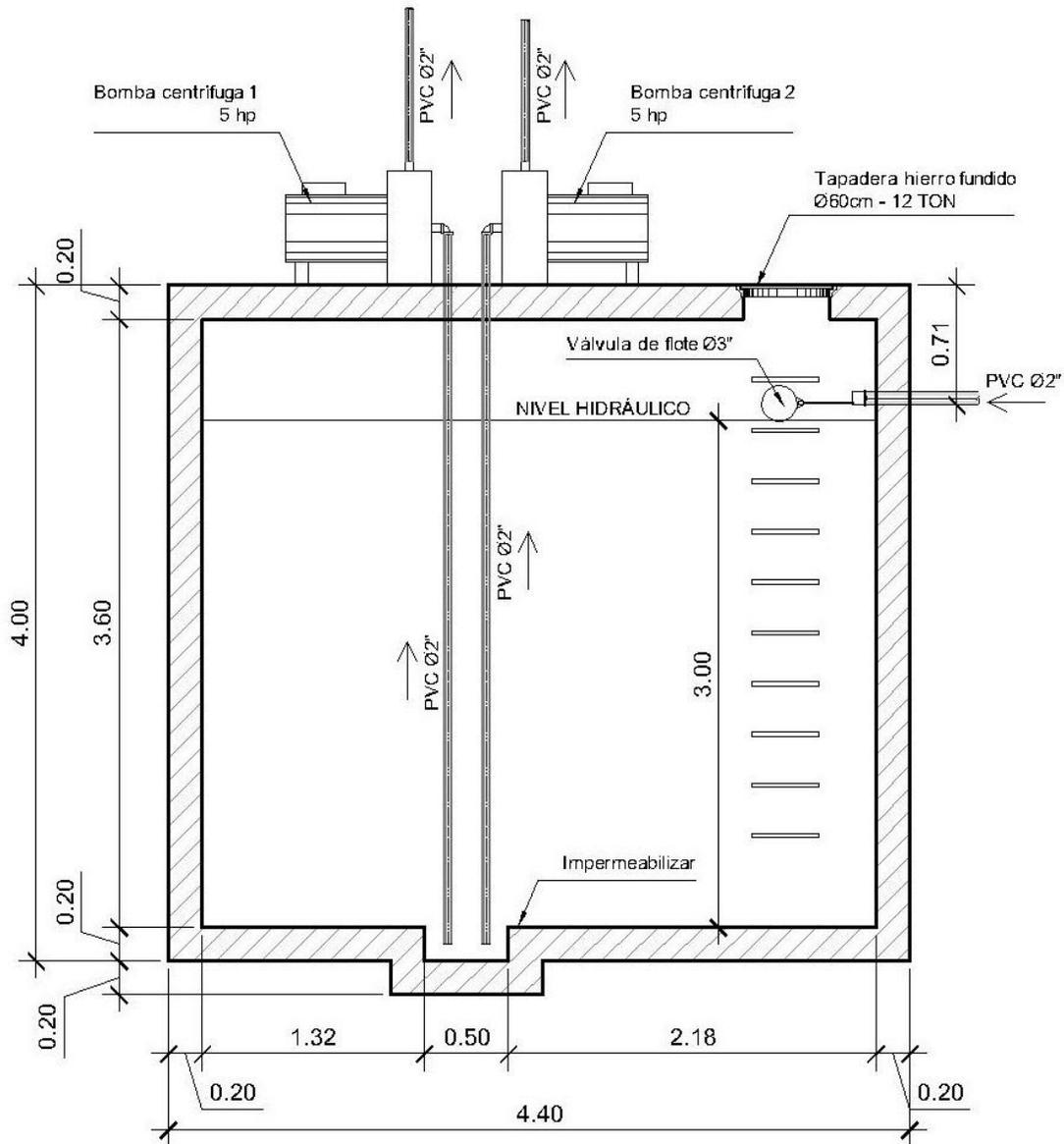
Tabla XLV. **Dimensionamiento de estación de bombeo 2**

Caudal instantáneo a bombear	64,46	GPM
Presión necesaria	162,34	ft
Volumen diario a bombear	43,5	m <sup>3</sup>
Tiempo de bombeo	6	horas
Altura	3	m
Área	14,5	m <sup>2</sup>
Ancho	3,6	m
Largo	4,0	m

Fuente: elaboración propia

- Tipo de bomba: centrífuga
- Material: acero inoxidable
- Marca: Ebara
- Potencia: 5 Hp
- Energía: 3 fases 230/460v

Figura 35. Estación de bombeo 2, vista en elevación



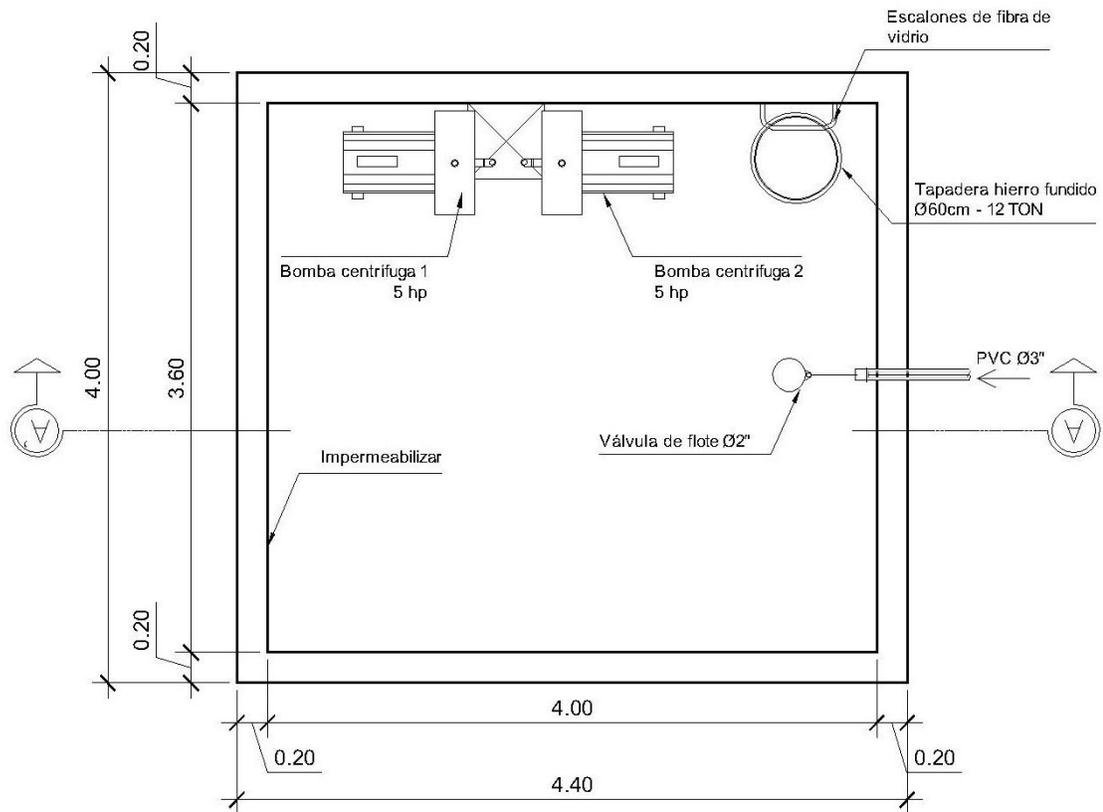
**Sección A-A'**

---

**Estación de bombeo 2**

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

Figura 36. Estación de bombeo 2, vista en planta



Planta  
Estación de bombeo 2

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

#### **4.4.4. Cálculo de la relación beneficio costo (B/C)**

Considerando las características del sistema descrito con anterioridad, se estimó el valor de la inversión inicial que se requeriría para implementarlo. Para ello, se estimaron las tareas de obra civil necesarias, como corte y demolición, excavación, instalaciones hidráulicas, equipo de bombeo, y obras complementarias como jardinería, riego, entre otros. En total, se estima una inversión inicial de Q 369 014,86. El cuadro de cantidades estimadas de trabajo se encuentra en el apéndice 6.

Para el análisis beneficio/costo se consideraron los siguientes aspectos:

- Tiempo de vida del proyecto: 20 años
- Tasa de interés<sup>4</sup>: 4%

---

<sup>4</sup> Tasa de interés líder para enero 2015. Fuente: Banco de Guatemala.

Tabla XLVI. **Análisis de beneficios del sistema en valor presente**

Detalle	Mensual	Anual	Valor Presente
Costo de abono		Q 15 000,00	Q 203 854,90
Costo tratamiento agua potable (únicamente lo que se utilizará para riego).	Q 600,00	Q 7 200,00	Q 97 850,35
Consumo energético de las bombas de extracción (únicamente lo que se utiliza para riego).		Q 17 536,84	Q 238 331,38
<b>Sumatoria de beneficios</b>			<b>Q 540 036,62</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Análisis de costo del sistema en valor presente**

Detalle	Pago único año cero	Anual	Valor Presente
Inversión inicial	Q 369 014,86		Q 369 014,86
Costo de mantenimiento (incluye gasto de energía eléctrica y mantenimiento del equipo de bombeo).		Q 15 052,80	Q 204 572,46
<b>Sumatoria de costos</b>			<b>Q 573 587,32</b>

Fuente: elaboración propia.

$$B/C = Q 540 036,62 / Q 573 587,32 = 0,94$$

Tabla XLVIII. **Análisis de beneficios del sistema en valor anual**

Detalle	Mensual	Anual	Valor Anual
Costo de abono		Q 15 000,00	Q 15 000,00
Costo tratamiento agua potable (únicamente lo que se utilizará para riego).	Q 600,00	Q 7 200,00	Q 7 200,00
Consumo energético de las bombas de extracción (únicamente lo que se utiliza para riego).		Q 17 536,84	Q 17 536,84
Sumatoria de beneficios			<u>Q 39 736,84</u>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Análisis de costos del sistema en valor anual**

Detalle	Pago único año cero	Anual	Valor Anual
Inversión inicial	Q 369 014,86		Q 27 152,76
Costo de mantenimiento (incluye gasto de energía eléctrica y mantenimiento del equipo de bombeo).		Q 15 052,80	Q 15 052,80
Sumatoria de costos			<u>Q 42 205,56</u>

Fuente: elaboración propia.

$$B/C = Q 39 736,84 / Q 42 205,56 = 0,94$$

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con base en los resultados experimentales, a la información cualitativa que se obtuvo de cada visita y a los registros recolectados desde que inició a operar la planta de tratamiento, se realizó el análisis que a continuación se presenta en tres apartados: la eficiencia del sistema de tratamiento existente, el reúso del agua para riego como tratamiento terciario y el análisis beneficio-costos del reúso del agua tratada en el riego de los jardines que rodean la cafetería.

### **5.1. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Los resultados de la calidad del agua que ingresa y sale de cada unidad de tratamiento y, en general, al comparar la calidad del agua que ingresa al sistema contra la que es descargada por el sedimentador secundario, muestran un funcionamiento deficiente de la PTAR. A continuación se presenta un cuadro en el que se comparan los resultados promedio de la calidad de descarga del sedimentador secundario con las distintas etapas de cumplimiento que establece el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 para la descarga a cuerpos receptores, como actualmente descarga la PTAR de la URL.

Tabla L. **Comparación con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 descarga a un cuerpo receptor**

Parámetro	Unidades	Prom. resultados	2/5/12	2/5/15	2/5/20	2/5/24
Temperatura	°C	25,3	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7
Sólidos suspendidos	mg/l	46,8	600	400	150	100
Nitrógeno total	mg/l	73,6	100	50	25	20
Fósforo total	mg/l	4,4	75	30	15	10
Potencial de Hidrógeno	ph	7,4	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5,19E+06	< 1x10 <sup>6</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Color	u pt-cb	169,3	1300	1000	750	500
DBO5	mg/l	169,3				200

Fuente: elaboración propia.

En amarillo se marcan los parámetros que no se cumplirían al finalizar cada etapa si la descarga se continúa haciendo como hasta ahora. El parámetro de coliformes fecales no puede compararse pues, después del punto de toma de muestra, el agua recibe un tratamiento de desinfección por cloración previo a la descarga. Así, que de los parámetros evaluados, el único que debe mejorarse para cumplir con el reglamento es el de nitrógeno total.

A pesar de que el nitrógeno total es el único parámetro que no cumple con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, es importante

mencionar que, para el tipo de tecnología del sistema de tratamiento que se utiliza en la URL, los porcentajes de eficiencia con los que actualmente está trabajando están muy por debajo de los que se esperarían.

Existen diversos factores que influyen en los resultados, varios de los cuales se pueden corregir para mejorar el funcionamiento de la planta y, por consiguiente, la eficiencia de la misma en la remoción de los contaminantes.

El sistema de tratamiento fue diseñado para que al 2030 tenga la capacidad de tratar un caudal promedio de 12,85 l/s, es decir que cada unidad de tratamiento fue diseñada para tratar un caudal medio de 6,4 l/s, según el *Informe final del sistema de tratamiento de agua residual del campus central de la Universidad Rafael Landívar* elaborado por el Ing. Félix Aguilar. Actualmente, el caudal promedio que ingresa a la PTAR es de 2,036 l/s.

Tabla LI. **Caudales de diseño y caudales actuales**

Parámetro	Diseño para 2030 (para cada unidad)	Datos actuales 2014 (para cada unidad)
Q mínimo	3,36 l/s	0,30 l/s
Q máximo	13,44 l/s	8,15 l/s <sup>5</sup>
Q promedio	6,43 l/s	2,04 l/s

Fuente: elaboración propia.

El caudal promedio que actualmente ingresa a la PTAR es 30 % menor que el caudal de diseño esperado para el 2030, esto produce que los

<sup>5</sup> El caudal pico se dio después de la lluvia de ese día de 2,8 mm. El segundo valor más alto registrado fue de 6,1 l/s.

parámetros bajo los cuales se realizó el diseño de la PTAR sean distintos a los que actualmente tiene en la operación. En los sedimentadores, por ejemplo, el tiempo de residencia es de 9,6 horas en lugar de las 2,5 de diseño, y la carga superficial de  $9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$  en lugar de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ . Las diferencias tan grandes entre la cantidad de agua que tratan los sedimentadores actualmente y la que se estimó en el diseño para el año 2030 provocan que se inicien procesos anaerobios de degradación de lodos que producen burbujas de gas que, al elevarse hacia la superficie, levantan los sólidos que ya se encontraban sedimentados, por consiguiente, el funcionamiento del sedimentador se ve alterado de forma negativa.

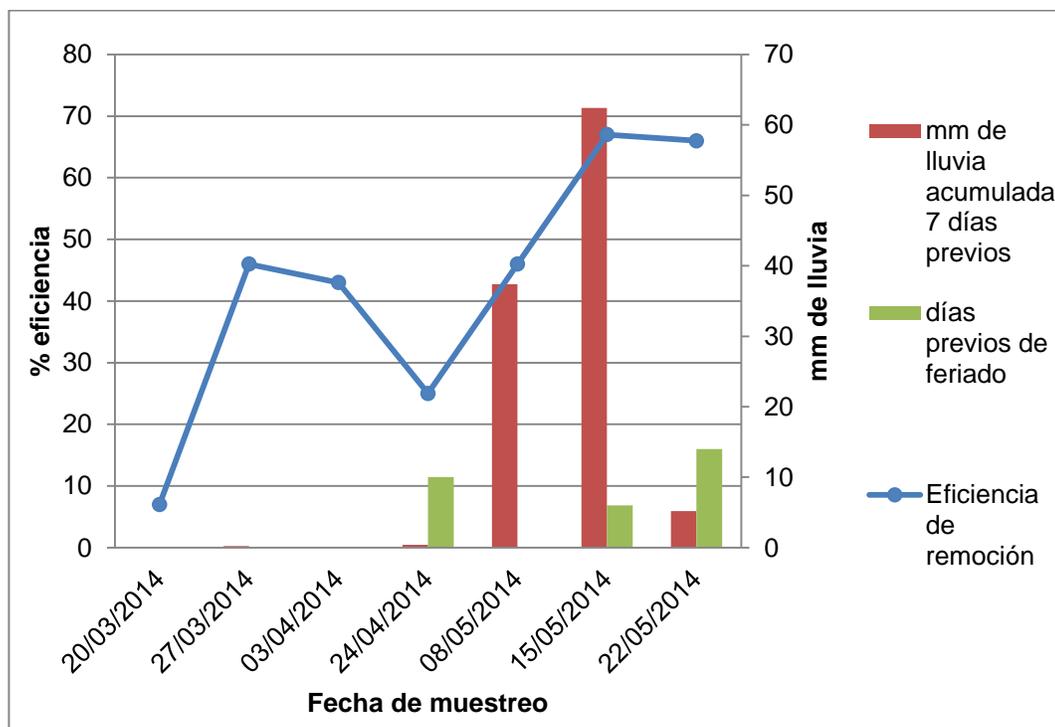
En el caso del filtro percolador, la carga hidráulica a la que trabaja actualmente cumple con el rango de diseño, entre  $1,2 - 3,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ , y se encuentra cercana al límite inferior. La carga orgánica promedio con la que está trabajando actualmente el filtro se encuentra entre el rango de  $0,08 - 0,40 \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3/\text{día}$  cercana al límite superior.

La calidad y cantidad de agua que ingresa al sistema de tratamiento varía día a día en base a las actividades que se realizan en la universidad, sin embargo, los días críticos son aquellos en los que llueve y aquellos en donde la población universitaria es mucho menor a lo usual (vacaciones/feriados/fines de semana). El colector que dirige las aguas residuales hacia la PTAR también capta las aguas pluviales del campus, es por ello que el primer elemento de la planta es un canal de demasías que no permite el ingreso de un caudal mayor del que esta puede tratar. Sin embargo, los días que llueve el agua que ingresa al sistema de tratamiento tiene concentraciones menores de los contaminantes debido a la dilución. En cuanto a los períodos de vacaciones, la cantidad de personas en el campus disminuye a tal punto que el caudal de aguas residuales que ingresa la PTAR es mucho menor que el que normalmente recibe, 96 %

menor, y la calidad de agua es mejor pues no se llevan a cabo tantos procesos de limpieza en las cocinas de los restaurantes, ni se descargan tantos sanitarios, entre otros.

A continuación se presenta una gráfica en la que se compara la eficiencia global del sistema de tratamiento en remoción de  $\text{DBO}_5$  con los días previos de lluvia en la semana de muestreo, y los días acumulados de vacaciones.

Figura 37. **Eficiencia global del sistema de tratamiento en remoción de  $\text{DBO}_5$**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica puede deducirse, a partir de la eficiencia de 25 % que se tuvo el 24/04/2014, que la ausencia de estudiantes en el campus afecta negativamente la eficiencia del sistema de tratamiento. En las fechas posteriores se identifica una mejora de la eficiencia en el sistema, pero podría decirse que se trata de una falsa impresión pues el agua de lluvia diluye la concentración de contaminantes del agua residual tratada (también diluye las concentraciones del agua residual cruda, sin embargo en los períodos de muestreo nunca llovió, por lo que el agua residual que ingresaba al sistema en ese momento no se encontraba diluida).

El buen funcionamiento de la PTAR está directamente relacionado con la calidad de mantenimiento que recibe. Durante los días de muestreo se observó que las tareas de mantenimiento que se realizan diariamente son deficientes y algunas incluso inadecuadas para la planta. A continuación se presenta en forma general las mejoras en el mantenimiento que requiere cada unidad de tratamiento.

Tabla LII. **Análisis de mantenimiento del desarenador**

Tareas de mantenimiento actuales	Mejoras propuesta para las tareas de mantenimiento
Se utilizan los dos canales al mismo tiempo.	Se deben utilizar los dos canales de forma alterna.
Las arenas sedimentadas son levantadas utilizando una manguera con agua a presión y provoca que éstas se trasladen hacia la siguiente unidad de tratamiento.	Para extraer las arenas se debe cerrar el canal a limpiar, y luego con una pala retirar los sedimentos del fondo. Estos deben disponerse como desecho sólidos.
Los vertederos sutros instalados al final de cada canal están rotos y permiten el paso de agua bajo ellos. No se realizan mediciones de caudal diariamente.	Se deben reemplazar los medidores y se deben realizar lecturas del caudal todos los días a la misma hora, por lo menos dos veces al día.

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Análisis de mantenimiento del sedimentador primario**

Tareas de mantenimiento actuales	Mejoras propuesta para las tareas de mantenimiento
<p>Todos los días se le forma una capa de sólidos flotantes.</p> <p>Esta práctica produce efluentes más turbios disminuyendo la eficiencia del sedimentador.</p> <p>Actualmente se utiliza una manguera con agua a presión para revolver los sólidos flotantes con el resto del agua del sedimentador.</p>	<p>La capa de sólidos flotantes debe retirarse de la superficie con una pala, y disponerse como desechos sólidos.</p>
<p>Los lodos que se acumulan en el fondo no se extraen con suficiente frecuencia, por lo que se generan burbujas de gas que al elevarse traen consigo los sólidos ya sedimentados.</p> <p>Esta práctica ocasiona una disminución en la eficiencia del sedimentador.</p>	<p>Se deben hacer pruebas de frecuencia y tiempo en los que se debe abrir la válvula de extracción de lodos para evitar que se den los procesos de digestión anaerobia.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Análisis de mantenimiento del filtro percolador**

Tareas de mantenimiento actuales	Mejoras propuesta para las tareas de mantenimiento
<p>Las tuberías de distribución se encuentran muy separadas entre sí y los agujeros son tan pequeños que con facilidad se obstruyen. En consecuencia, existen áreas del filtro que se encuentran secas.</p>	<p>Cambiar las tuberías de distribución por canales abiertas de tal forma que las tareas de limpieza sean mucho más sencillas. Aumentar la cantidad de canales para lograr una mejor distribución del agua sobre el área del filtro percolador.</p>
<p>Existe una fuga en una de las tuberías de alimentación que debe repararse.</p>	<p>Verificar periódicamente el estado físico de la estructura y tubería que conforman el sistema de tratamiento.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Análisis de mantenimiento del sedimentador secundario**

Tareas de mantenimiento actuales	Mejoras propuesta para las tareas de mantenimiento
Se generan burbujas de gas con mucha más frecuencia que en el sedimentador primario, lo que indica que la extracción de lodos se está realizando con muy baja frecuencia.	Se deben hacer pruebas de frecuencia y tiempo en los que se debe abrir la válvula de extracción de lodos para evitar que se den los procesos de digestión anaerobia.

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Análisis de mantenimiento del sistema de desinfección**

Tareas de mantenimiento actuales	Mejoras propuesta para las tareas de mantenimiento
Se realiza por medio de la aplicación de una solución con cloro al agua que sale del sedimentador secundario. Según los análisis de calidad realizados, el agua descargada por el sedimentador secundario aún cuenta con tal cantidad de materia orgánica que no es recomendable la aplicación de cloro por la posible formación de trihalometanos.	Se recomienda cambiar el sistema de desinfección por uno de rayos UV.

Fuente: elaboración propia.

## **5.2. Calidad del efluente del sedimentador secundario para reuso en riego**

Tanto el análisis RAS como el fitotoxicológico son los dos indicadores claves que se utilizaron para establecer si la calidad de agua que sale del sedimentador secundario es apta para riego. Con apta se hace referencia a que el uso de dicha agua en el riego de los jardines del campus no ocasionará efectos negativos en el desarrollo de las plantas ni en los seres humanos que transitarán sobre ellos.

El análisis fitotoxicológico se realizó en 3 tipos de semillas según el método Phytotoxkit, utilizando agua destilada como control y agua residual como prueba. Este método permite establecer si el agua de riego es tóxica o no para las plantas sin necesidad de analizar la concentración de las sustancias tóxicas en el agua (boro, cloruros, sodio, entre otros). La desviación estándar y el coeficiente de variación de cada corrida indican un grado de incerteza considerable en la mayoría de las réplicas realizadas. A pesar de ello, los resultados obtenidos son válidos pues cumplen con los criterios que el método establece; el primero indica que al menos el 70 % de las semillas debieron germinar, en el ensayo realizado germinó el 100 % de las semillas; el segundo indica que el promedio mínimo de longitud de raíces en el control debe ser de 30mm, en el ensayo realizado el promedio más bajo es de 33,69 mm.

Una de las semillas evaluadas pertenece a la familia de la grama (*Lepidium sativum*) similar a la que se siembra en los jardines de la Universidad. Esta semilla tuvo un mejor desarrollo, en un 2,9 %, al ser regada con el efluente del sedimentador secundario, que con el agua destilada. Este resultado se midió en los primeros 3 días de la planta luego de ser sembrada en el suelo estándar de la prueba Phytotoxkit, es decir en el momento en el que las plantas

son más sensibles. Con esta información puede decirse que si se llegaran a regar los jardines de la URL con el agua que descarga el sedimentador secundario, el desarrollo de la grama no se vería inhibido.

Los resultados obtenidos en la semilla de mostaza también muestran un mejor desarrollo al ser regadas con el agua tratada en un 2,96 % en comparación con el agua destilada. Podría decirse que el riego con el efluente de la PTAR no le causa un impacto significativo, ni negativo ni positivo. Y por último, la semilla *Monocotyl sorgho* sí presentó algún grado de inhibición, pero por ser menor del 20 %, se considera insignificante según el método de Phytotoxkit.

El análisis RAS es un indicador del efecto que tendrá el agua sobre el suelo del cultivo al regar con agua residual. El efluente del sedimentador secundario se evaluó en términos de sodio, calcio y magnesio para establecer dicha relación. Se obtuvo una relación RAS de 1,29 meq/L, lo que indica una baja peligrosidad para el suelo. Este parámetro se puede analizar en conjunto con la conductividad eléctrica del agua para establecer la factibilidad del uso en riego.

Según la gráfica de tipificación existen 16 categorías en las que se puede clasificar el agua en base a la relación RAS y a la conductividad eléctrica de la misma.

Tabla LVII. **Clasificación en relación a la conductividad**

Clasificación C (en relación a la conductividad)	Intervalos	Peligro de salinización
C1	<259	Bajo
C2	250-750	Moderado
C3	750-2 250	Medio
C4	2 250-4 000	Alto
C5	4 000-6 000	Muy alto
C6	>6 000	Excesivo

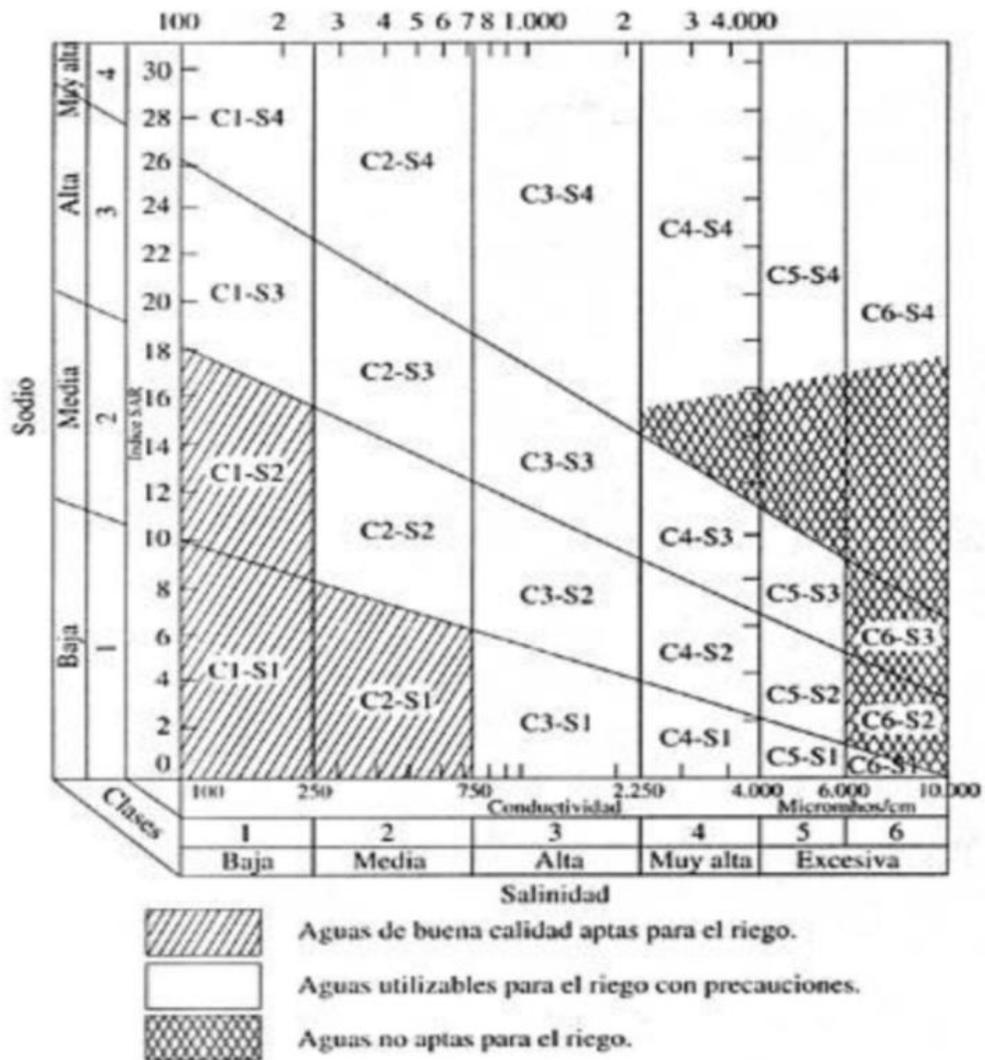
Fuente: PÉREZ LEÓN, José Manuel. *Manual para determinar la calidad de agua en riego agrícola*. p. 25.

Tabla LVIII. **Clasificación en relación del parámetro RAS**

Clasificación S (en relación al parámetro RAS)	Intervalos	Peligrosidad sódica
S1	0-2	Baja
S2	2-6	Media
S3	6-10	Alta
S4	>10	Muy Alta

Fuente: PÉREZ LEÓN, José Manuel. *Manual para determinar la calidad de agua en riego agrícola*. p. 28.

Figura 38. Gráfica de relación RAS y conductividad eléctrica



Fuente: PÉREZ LEÓN, José Manuel. *Manual para determinar la calidad de agua en riego agrícola*. p. 32.

El efluente de la PTAR, al tener un RAS de 1,29 meq/L y una conductividad promedio de 809  $\mu$ S/cm se clasifica como un agua C3-S1. Este tipo de agua debe usarse en suelos con permeabilidad de moderada a buena para evitar que se acumulen en el suelo las sales en cantidades nocivas para

las plantas. Si es necesario, deberán intercalarse riegos con agua clara y escogerse cultivos con tolerancia a la salinidad. Sin embargo, no ocasionará problemas de sodificación del suelo.

Para evaluar si el reúso del agua en el riego de jardines es factible, debe valorarse también el riesgo que tendrán para la salud humana, pues se trata de jardines sobre los cuales los estudiantes realizan actividades de recreación, así como la operatividad del sistema en términos de taponamientos. Existen distintos reglamentos que establecen los parámetros de calidad que debe tener el agua para poder ser reutilizada. En el caso del riego de áreas verdes en áreas urbanas en donde no se restringe el ingreso de personas, la EPA y el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de Guatemala establecen los siguientes parámetros:

Tabla LIX. **Parámetros de control**

Parámetro	Unidad	EPA 2012: Guidelines for water reuse	Acuerdo Gubernativo No. 236- 2006	Resultados obtenidos (promedio)
pH		6-9		7,44
DBO5	mg/l	≤10	200	162,11
Turbiedad	UNT	2		43,61
Coliformes fecales	NMP/100ml	No detectable	$< 1 \times 10^3$	$6,6 \times 10^6$
Cloro residual	Mg/l	1		ND

Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 y EPA. *Guidelines for water reuse*. p. 56.

Los resultados obtenidos son el promedio de las características que tuvo el agua en la descarga del sedimentador secundario durante el período de muestreo. Las coliformes, por consiguiente, son altas, pues las muestras fueron tomadas previas a la cloración. Sin embargo, las mediciones de coliformes fecales que ha realizado la universidad en la descarga final de la PTAR desde septiembre del 2010, no bajan de  $5,4 \times 10^4$  NMP/100ml, siendo el promedio de  $3,7 \times 10^6$  NMP/100ml y la moda de  $5,4 \times 10^6$  NMP/100ml.

Es evidente que los lineamientos que establece la EPA son más estrictos del reglamento guatemalteco. Parece lógico pensar que mientras menor sea la turbiedad y la  $DBO_5$ , menor será la incidencia de taponamientos en el sistema de riego. Por otra parte, las coliformes fecales es un parámetro importante a cumplir para minimizar los riesgos a la salud de las personas que circulan por los jardines. Según Feachem en su libro *Sanitation and diseases: health aspects of excreta and wastewater management*, los microorganismos patógenos pueden, sobrevivir varios días sobre la superficie del suelo.

Tabla LX. **Período de supervivencia de agentes patógenos excretados en el suelo y las superficies de los cultivos a temperatura de 20 – 30 °C**

Agente patógeno		Período de supervivencia	
		En el suelo	En los cultivos
Virus	Enterovirus	< 100, común < 20 días	< 60, común < 15 días
Bacterias	Coliformes fecales	< 70, común < 20 días	< 30, común < 15 días
	<i>Salmonella</i> spp	< 70, común < 20 días	< 30, común < 15 días
	<i>Vibrio cholera</i>	< 20, común < 10 días	< 5, común < 2 días
Agente Patógeno		Período de supervivencia	
		En el suelo	En los cultivos
Protozoarios	Quistes de <i>Entamoeba histolytica</i>	< 20, común < 10 días	< 10, común < 2 días
Helmintos	Huevos de <i>ascaris lumbricoides</i>	Muchos meses	< 60, común < 30 días
	Larvas de <i>anquilostomas</i>	< 90, común < 30 días	< 30, común < 10 días
	Huevos de <i>toenia saginata</i>	Muchos meses	< 60, común < 30 días
	Huevos de <i>trichuris trichiura</i>	Muchos meses	< 60, común < 30 días

Fuente: FEACHEM, Richard. *Sanitation and diseases: health aspects of excreta and wastewater management*. p. 95.

Los largos períodos de sobrevivencia de los agentes patógenos promueven la totalidad de la desinfección del efluente a reutilizar en riego para minimizar al máximo los riesgos a la salud de los estudiantes que dichos patógenos podrían ocasionar. Por consiguiente, para utilizar el efluente de la PTAR en riego, se deberán tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe mejorar la operación de la PTAR de tal forma que mejore la eficiencia y con ello la calidad del agua que descarga pues actualmente no es idónea para su uso en riego. La capacidad instalada de la planta de tratamiento es suficiente para producir efluentes aptos para el reúso en riego.
- La mejora de la calidad del agua que descarga el sedimentador secundario provocará la mejora en el proceso de desinfección, pues los microorganismos tendrán menos sólidos en los cuales protegerse del agente desinfectante. También se minimizará la formación de trihalometanos al entrar en contacto la materia orgánica con el cloro.
- Si se sigue realizando la desinfección por medio del cloro, se deberá instalar un proceso posterior para eliminar el cloro residual. Otras alternativas para la desinfección del efluente con menores efectos negativos para el reúso del agua en riego son:
  - Desinfección UV: desinfectará el agua sin dejar residuos como el cloro residual, pues en este caso esa característica del cloro no es necesaria. El agua debe estar con la menor cantidad de sólidos suspendidos posible.

- Desinfección con dióxido de cloro: oxidará las células de los microorganismos hasta destruirlas. Se requiere aplicar una concentración baja entre 0,2 a 0,4 mg/l

### **5.3. Eficiencia del riego en la remoción de nutrientes**

Tanto el nitrógeno como el fósforo son nutrientes esenciales para el crecimiento de la vegetación. El uso de agua residual tratada para riego tiene la ventaja de contar con dichos nutrientes disueltos, minimizando la necesidad de abono en las plantas. Las plantas, por su parte, absorben dichos nutrientes, previo a que el agua inicie a infiltrarse hacia los mantos acuíferos.

En las pruebas realizadas, el nitrógeno fue removido con mayor eficiencia por la grama con un promedio de 83 %. Las flores, por su parte, removieron un promedio del 38 % del nitrógeno del agua tratada. Es importante mencionar que las plantas se regaron diariamente, pero que los muestreos se realizaron una vez por semana, los días jueves. El primer día de riego, tanto las flores como la grama removieron alrededor de un 90 % del nitrógeno que contenía el agua residual, mientras que la parcela con tierra no removió prácticamente nada del nitrógeno.

Con el paso del tiempo, las flores disminuyeron su capacidad de remoción hasta el extremo de aportar en vez de remover el nitrógeno. Sin embargo, al final de las pruebas, las flores removieron el 40 % del nitrógeno. La grama también disminuyó un poco su capacidad de remoción hasta un 50 %, sin embargo, después mantuvo una remoción promedio del 82 %. Al compararla con las flores, puede concluirse que la grama remueve más eficientemente el nitrógeno.

Al mismo tiempo, se regó la parcela con tierra para establecer la diferencia de remoción en comparación con las plantas, para asegurar que la remoción de las plantas fue debido a la absorción por medio de las raíces y no por la retención en la tierra. Al regar la parcela con tierra, se obtuvo una remoción muy baja de nitrógeno, conforme el paso del tiempo, el porcentaje del nitrógeno retenido aumentó, hasta llegar a un punto de saturación luego del cual la descarga del agua después de pasar por la tierra tenía más nitrógeno por litro que en el agua de riego. De tal cuenta, puede intuirse que la remoción de nitrógeno que se registró al pasar el agua por el área radicular de la grama y las flores fue en su mayoría por absorción de las raíces y no por retención en la tierra.

La diferencia en la remoción del fósforo fue menos marcada que en la del nitrógeno. En este caso, tanto las flores y la grama como la tierra, tuvieron una remoción de nitrógeno similar, 76 %, 77 % y 78 % respectivamente. El comportamiento de la eficiencia de remoción *versus* el tiempo transcurrido desde que se inició a regar con el agua residual tratada es similar en los tres casos. Incluso, al final del período de muestreo, la tierra retuvo más fósforo del que retuvieron las parcelas experimentales de grama y de flores. Por consiguiente, la remoción del fósforo debido a la absorción de las raíces no es significativa, pues al compararla con el comportamiento de la parcela con tierra resulta ser muy similar.

#### **5.4. Análisis beneficio costo**

Para el análisis de los beneficios que tendría a la URL construir un sistema de riego que reutilice el agua del efluente de la PTAR se consideraron los siguientes aspectos:

- Compra de fertilizantes: la URL tendrá un ahorro en el uso y compra de fertilizantes, ya que estos no serán necesarios en la misma cantidad que los utilizan actualmente, debido a los nutrientes contenidos en el agua residual.
- Ahorro en el tratamiento de agua extraída de los pozos: se obtendrá un ahorro en el tratamiento que le dan actualmente al agua que extraen de los pozos, principalmente el uso de cloro, ya que este volumen de agua se reducirá y con ello los costos de tratamiento.
- Ahorro de energía: dentro de los beneficios se consideró el volumen de agua que deberán dejar de extraer de los pozos y, por consiguiente, el ahorro en energía en el sistema de bombeo con que cuentan actualmente.

Para el análisis de los costos que tendría la URL al construir un sistema de riego que reutilice el agua del efluente de la PTAR se consideraron los siguientes aspectos:

- Inversión inicial: se analizó el costo de la inversión inicial en el año cero, es decir su valor actual.
- Costos de mantenimiento: para los costos de mantenimiento, se consideraron los costos de la energía eléctrica que incurrirán con el nuevo sistema de bombeo, así como el mantenimiento periódico de dichos equipos.

Después de llevar a cabo el análisis se obtuvo un valor de relación beneficio/costo de 0,94. Este resultado indica que para la cantidad de metros

cuadrados de área de riego que se consideró en este ejercicio, el proyecto no es viable. Sin embargo, si se considerara mayor área de riego, y quizá otro sistema de riego distinto al de aspersores, el resultado podría ser positivo.

Es importante mencionar que a pesar de que el resultado del análisis beneficio/costo no sea del todo satisfactorio, existen otros beneficios que no pueden ser considerados en la ecuación, pero que son importantes. Uno de estos beneficios es el evitar la descarga del agua que aún tiene cierto grado de contaminación, pues al hacerlo, se minimiza la contaminación al Río Contreras. Otro beneficio que no se puede cuantificar económicamente es la reducción de la explotación de los mantos acuíferos, pues mientras menor sea el caudal que se extraiga de ellos, menor será el impacto que se les ocasionará y mayor será el tiempo que dicho manto pueda suministrar de agua.

## CONCLUSIONES

1. Los valores promedio en la salida del sedimentador secundario para DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales son 162,11 mg/l y 6,66x10<sup>6</sup> NMP/100ml respectivamente. Tomando en cuenta el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, que en su capítulo VII, Parámetros de aguas para reúso, artículos 34 y 35, regula los parámetros y límites máximos permisibles para reúso, se concluye que el efluente de la PTAR cumple para la DBO<sub>5</sub> ya que este parámetro no aplica para el tipo de reúso, pero no cumple para coliformes fecales ya que se encuentra por arriba de los 1x10<sup>3</sup> NMP/100ml establecidos.
2. El reúso del efluente para riego demostró lograr una remoción de nutrientes del 78 % en promedio con lo cual se supera ampliamente el dato esperado de 50 %. Considerando un área para riego de 3 869,5 m<sup>2</sup> (7,7 % del área total de riego) se determinó que se reduciría únicamente un 5,8 % de la extracción total del agua de los pozos muy por debajo del dato esperado de 40 %. Sin embargo, si se llegaran a regar con el agua tratada los 50 000 m<sup>2</sup> de jardín, y si se considera la misma demanda de agua en todas las áreas a regar, se podría llegar a reutilizar el 75,6 % del agua extraída actualmente de los pozos.
3. La eficiencia promedio en la remoción de DBO<sub>5</sub> en el sedimentador primario es de 21,7 %, el filtro percolador de 24,3 % y en el sedimentador secundario de - 4,8 %. La eficiencia global del sistema es de 42,5 %, por lo que se concluye muy baja para el tipo de tecnología instalada. La

eficiencia global en la remoción del fósforo y el nitrógeno es del 5 % y 30 %, lo esperado para este tipo de tecnología.

4. Con el análisis fitotoxicológico se determinó que la semillas de grama de jardín (*Lepidium sativum*) presentaron un porcentaje de inhibición de crecimiento del -21,88 % por lo que se considera que el riego con agua residual tratada estimuló su crecimiento. El efluente del sedimentador secundario se evaluó en términos de sodio, calcio y magnesio para establecer la relación RAS para lo cual se obtuvo un resultado de 1,29 meq/L, lo que indica una baja peligrosidad para el suelo de la URL. Con los datos obtenidos se concluye que el efluente del sedimentador secundario es apto para utilizar en el riego de los jardines del campus central de la Universidad Rafael Landívar, sin embargo es importante considerar que el contacto de las personas con dicho efluente puede ocasionarles problemas de salud y la calidad del agua ocasionaría taponamientos en la tubería de riego.
5. La eficiencia promedio en la remoción de nitrógeno por la grama y las flores chatía, fue de 79 % y 38 % respectivamente. La eficiencia en la remoción de fósforo por la grama y las flores chatías fue en promedio 76,5 % sin embargo se determinó que la mayor influencia de retención la tiene la tierra la cual retuvo un 78 % del fósforo total, incidiendo grandemente en el porcentaje de retención de la grama y las flores. Se concluye que el reúso en riego como tratamiento terciario en la remoción de nutrientes es una alternativa viable, sin embargo, para el caso del fósforo la retención la hace la tierra y no las raíces de las plantas.
6. Con un diseño de sistema de riego por aspersion considerando el 7,7 % del área disponible para riego, se obtuvo una relación de

beneficios/costos de 0,94 por lo cual se concluye que el sistema no es recomendable desde el punto de vista económico para un área tan pequeña.

7. Aunque el proyecto de la implementación del sistema de riego con agua tratada en un área de 3 869,5 m<sup>2</sup> no es viable económicamente, se deben tomar en cuenta los beneficios ambientales que se obtienen de estos sistemas, tales como minimizar la sobre explotación del manto freático, disminuir la descarga hacia el río Contreras, logrando con esto reducir los efectos de eutrofización en dicho cuerpo de agua y que la Universidad Rafael Landívar avance en el desarrollo del programa de campus sustentable que busca mejorar la relación de convivencia entre sociedad y naturaleza.



## RECOMENDACIONES

1. Para poder reutilizar el agua tratada para riego, se deberá mejorar la eficiencia en la remoción de los contaminantes mediante la capacitación del personal operativo de la planta para mejorar las tareas de mantenimiento conforme lo especificado en la discusión de resultados.
2. Construir un tanque ecualizador que regule la cantidad y calidad del agua que ingresa al sistema de tratamiento, de tal forma que los fines de semana, o los feriados cortos no provoquen inestabilidad. También deberá mejorarse el sistema de distribución del agua sobre el área del filtro percolador para que cubra más área y sea más fácil de mantener.
3. Cambiar el sistema de desinfección por cloración a un sistema UV, para reusar el agua tratada en riego sin riesgo de que el cloro dañe las plantas, así como para evitar la posible formación de trihalometanos.
4. Realizar periódicamente el análisis fitotoxicológico, el RAS y el de salinidad para asegurar que los parámetros se mantienen dentro de los rangos aceptables, pues los análisis realizados en este estudio se hicieron una única vez por temas de presupuesto.
5. Realizar la evaluación de la remoción de nutrientes en el agua tratada al pasar por el área radicular de las plantas por un período más prolongado, de tal forma que se puedan establecer con claridad la curva de comportamiento hasta llegar a una constante de remoción. Además, se podrán hacer pruebas con diversos factores como sol, lluvia,

intercambio de riego con agua tratada y agua clara, para establecer los efectos que tiene en la eficiencia.

6. Establecer otro método para comprobar la eficiencia en la remoción de fósforo en el agua al ser utilizada en el riego de grama y chatías.
7. Monitorear por un período más prolongado los cambios en la eficiencia de la remoción del fósforo al regar las parcelas experimentales con agua residual tratada, pues se concluyó que la remoción se debió a la retención del fósforo en la tierra que puede tener un punto de saturación después del cual se reduzca la eficiencia.
8. Realizar la evaluación de remoción de nutrientes al utilizar el agua residual tratada para riego con otro tipo de plantas como árboles, maíz, pasto, entre otros.
9. Realizar pruebas de fitotoxicidad a los lodos deshidratados para establecer su potencial en el reúso como abono.
10. Realizar un análisis beneficio costo considerando una mayor área de riego para determinar con qué volumen de riego el sistema empieza a ser viable económicamente.
11. Realizar un análisis beneficio costo considerando otro sistema de riego.
12. Realizar pruebas a la calidad del agua en laboratorios externos para comparar sus parámetros de calidad de muestreo y análisis de muestras periódicamente.

13. Obtener en distintas épocas del año la curva del caudal que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales, para tener más datos que permitan comprender mejor los ciclos de descarga y el efecto de ellos en la eficiencia de la planta.
  
14. Medir todos los meses la cantidad de agua que se extrae del pozo y la utilizada para riego, de tal forma que pueda determinarse con mayor precisión la cantidad de agua que actualmente se utiliza para riego.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR CARRERA, Félix Alan Douglas. *Informe final sistema de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar Guatemala*. Guatemala: URL, 2008. 38 p.
2. American Water Works Association. American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21a. ed. Estados Unidos de América: American Public Health Association, 2002. 1 496 p.
3. FEACHEM, Richard; BRADLY, David; GARELICK, Hemda; MARA, Gunca. *Sanitation and disease health aspects of excreta and wastewater management*. Nueva York: Banco Mundial, 1983. 501 p.
4. Instituto Técnico de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. *Programa ambiental del campus central de la Universidad Rafael Landívar*. Guatemala: IARNA, 2009. 36 p.
5. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. 2a. ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. 546 p. ISBN: 958-8060-36-2

6. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. 3a. ed. México: McGraw Hill, 1996, 2v. ISBN: 0-07-041690-7
7. MUCH SANTOS, Zenón. *Reúso de agua residual pre-tratada en agricultura y piscicultura*. Guatemala. 43 p.
8. SARA VIA CELIS, Pedro. *Contaminación del agua*. Guatemala. 95 p.
9. SAENZ FORERO, Rodolfo. *Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales*. Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1985. 137 p.
10. United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for water reuse*. USA: EPA. 643 p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1

### Proceso de construcción de parcelas experimentales



Marco de madera y nylon.



Piedrín y manguera de desfogue.



Tierra negra utilizada en URL.



Siembra de plantas utilizadas en URL.



Riego de parcelas con agua tratada.



Toma de muestra del efluente.

Fuente: Universidad Rafael Landívar.

## Apéndice 2

Cambios en plantas de las parcelas experimentales regadas con agua residual tratada.

Fecha inicial de siembra: 4 marzo 2014	Última fecha de riego: 8 mayo 2014
	
	
	

Fuente: Universidad Rafael Landívar.

### Apéndice 3

#### Procedimiento de Phytotoxkit



Se humedece el suelo.



Se coloca el filtro para la siembra.



Semillas utilizadas en la prueba.



Siembra de semillas.



Incubación por 3 días.

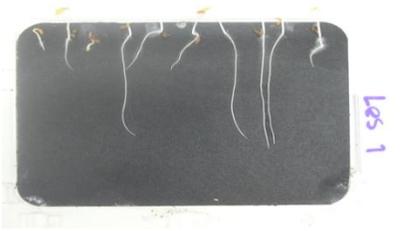
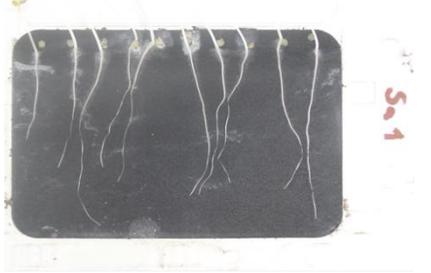
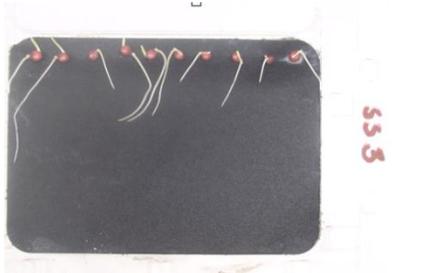


Toma de fotografías.

Fuente: laboratorio particular, Lic. Pablo Mayorga

### Apéndice 4

Fotografías germinación y crecimiento de raíces con Phytotoxkit después de 3 días.

Semilla	Con agua residual tratada	Con agua destilada
LES		
SIA		
SOS		

Fuente: laboratorio particular, Lic. Pablo Mayorga

## Apéndice 5

Jardines evaluados para el riego con agua tratada.



Jardín frente a cafetería central.



Jardín frente al edificio M.

Fuente: Universidad Rafael Landívar.

### Apéndice 6

Cuadro de cantidades estimadas de trabajos para implementar el sistema de riego de agua residual tratada.

Núm Renglón	Descripción	Cantidad	U	precio unitario	Precio renglón
<b>1</b>	<b>Preliminares</b>				
1.01	Rótulo de identificación del proyecto y equipo de seguridad del área	1,00	U	Q 3 893,30	Q 3 893,30
1.02	Trazo	647,00	ml	Q 23,50	Q 15 204,50
<b>2</b>	<b>Corte y demolición</b>				
2.01	Corte de concreto espesor 0.10m.	115,00	ml	Q 86,32	Q 9 926,80
2.02	Demolición y retiro de desperdicio.	34,50	m <sup>2</sup>	Q 350,00	Q 12 075,00
<b>3</b>	<b>Excavación</b>				
3.01	Excavación para tubería principal y secundaria	517,60	m <sup>3</sup>	Q 25,25	Q 13 069,40

<b>Núm Renglón</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>U</b>	<b>precio unitario</b>	<b>Precio renglón</b>
<b>4</b>	<b>Instalaciones hidráulicas</b>				
4.01	Instalación de tubería diámetro 2,5"	252,00	ml	Q 90,50	Q 22 806,00
4.02	Instalación de tubería diámetro 2"	155,00	ml	Q 75,00	Q 11 625,00
4.03	Instalación de tubería diámetro 1,5"	240,00	ml	Q 55,50	Q 13 320,00
4.04	Relleno y compactación para instalación de tubería	129,00	m <sup>3</sup>	Q 135,25	Q 17 447,25
<b>5</b>	<b>Equipo de bombeo</b>				
5.01	Instalación de estación de bombeo 1	1,00	U	Q 120 612,25	Q 120 612,25
5.02	Instalación de estación de bombeo 2	1,00	U	Q 95 863,50	Q 95 863,50

<b>Núm Renglón</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>U</b>	<b>precio unitario</b>	<b>Precio renglón</b>
<b>6</b>	<b>Obras complementarias</b>				
6.01	Jardinización	25,00	m <sup>2</sup>	Q 91,50	Q 2 287,50
6.02	Fundición de aceras	34,50	m <sup>2</sup>	Q 454,36	Q 15 675,42
6.03	Sistema de riego	1,00	U	Q 15 208,94	Q 15 208,94
Subtotal =					Q 369 014,86

Precio total	Q 369 014,86
--------------	--------------

Fuente: elaboración propia.

# ANEXOS

## Anexo 1

Reportes de análisis de calidad del agua realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA



Parámetro/ punto de muestreo	Unidad	20 marzo 2014						
		S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	373	369	268	273	ND	ND	ND
DBO5	mg/l	284	304	236	263	ND	ND	ND
N total	mg/l	103	132	115	111	ND	ND	ND
P total	mg/l	FR	FR	FR	FR	ND	ND	ND
TSS	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
pH	unidades pH	8.45	7.74	7.9	7.72	ND	ND	ND
Solidos disueltos	mg/l	503	513	501	521	ND	ND	ND
Temperatura	°C	23.2	22.6	21.8	21.9	ND	ND	ND
Conductividad eléctrica	µS/cm	949	968	945	983	ND	ND	ND
Color	unidades pt-cb	284	280	260	240	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100 ml	ND	ND	ND	FR	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	92.9	90.6	82.8	70	ND	ND	ND

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.

Zenfir Much (signature)  
Ing. Zenfir Much (signature)  
MSc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Hidráulica (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.



		27 marzo 2014						
Parámetro/ punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	550	300	203	152	ND	ND	ND
DBO5	mg/l	277	175.5	92.4	148.75	ND	ND	ND
N total	mg/l	85	72	71	78	1	77	13
P total	mg/l	7	6.2	7.8	6.8	0.4	0.4	0
TSS	mg/l	208.1	88	63.9	48	ND	ND	ND
pH	unidades pH	8.25	7.83	7.79	7.65	6.83	6.93	6.82
Solidos disueltos	mg/l	504	489	477	522	ND	ND	ND
Temperatura	°C	26.7	26.7	26.4	26.6	26.5	26.4	26.4
Conductividad eléctrica	µS/cm	950	922	900	984	ND	ND	ND
Color	unidades pt- cb	318	276	200	172	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	FR	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	112	74	47.9	39	ND	ND	ND

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.

Zelton Much Echeverri  
Ing. Químico Col. 420  
MSd. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio





3 abril 2014

Parámetro/punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	590	470	281	277	ND	ND	ND
DBO5	mg/l	207	206	134	119	ND	ND	ND
N total	mg/l	230	207	205	199	169	180	99
P total	mg/l	6.8	9	11.9	9.3	2.16	3.04	2.57
TSS	mg/l	197.0	100	84	69.0	ND	ND	ND
pH	unidades pH	8.4	7.59	7.74	7.62	ND	ND	ND
Sólidos disueltos	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Temperatura	°C	27.2	27.3	27.5	27	ND	ND	ND
Conductividad eléctrica	µS/cm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Color	unidades pt-cb	201	119	107	89	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	FR	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	104	54	58.8	40.7	ND	ND	ND

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.





		24 abril 2014						
Parámetro/punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	620	580	226	172	ND	ND	ND
DBO5	mg/l	162.25	166.5	127	122	ND	ND	ND
N total	mg/l	74	85	70	65	33	39	18
P total	mg/l	5.3	6.1	6.1	6	0.2	1.3	1
TSS	mg/l	134.3	82	66.2	38	ND	ND	ND
pH	unidades pH	7.7	7.05	7.34	7.33	6.7	6.87	6.75
Solidos disueltos	mg/l	445	494	466	475	ND	ND	ND
Temperatura	°C	27.2	26.4	26.3	26.1	25.8	26	26.2
Conductividad eléctrica	µS/cm	840	933	879	897	ND	ND	ND
Color	unidades pt-cb	348	271	231	198	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	FR	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	93.8	60.2	52.6	42	ND	ND	ND

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.

*[Handwritten Signature]*  
Zepón Mudi Sanja  
Ing. Químico Col. No. 320  
MSc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio



		8 mayo 2014						
Parámetro/punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	480	380	344	237	ND	ND	ND
DBO5	mg/l	282	269	218	152.5	ND	ND	ND
N total	mg/l	78	67	48	57	78	23	0
P total	mg/l	2.5	2.06	1.94	1.78	0.1	0.6	0.16
TSS	mg/l	240.9	68.9	122.7	50	ND	ND	ND
pH	unidades pH	8.17	7.24	7.71	7.54	6.99	7.72	7.24
Solidos disueltos	mg/l	401	458	434	433	ND	ND	ND
Temperatura	°C	24.9	24.8	24.8	24.8	24.5	24.6	24.7
Conductividad eléctrica	µS/cm	756	864	818	817	ND	ND	ND
Color	unidades pt-cb	473	261	246	193	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	7.40E+05	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	165	67	82.4	47.8	ND	ND	ND

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.





15 mayo 2014

Parámetro/punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	640	250	188	126	ND	ND	ND
DBO5	mg/l	492	165	184	161.04	ND	ND	ND
N total	mg/l	3.4	3.4	3.2	2.2	1	6.6	0.4
P total	mg/l	1.8	1.32	1.4	1.02	0.28	0.32	0.26
TSS	mg/l	314.8	55	86.6	39	ND	ND	ND
pH	unidades pH	6.84	6.74	7.15	7.12	6.86	6.66	6.88
Solidos disueltos	mg/l	287	318	297	259	ND	ND	ND
Temperatura	°C	24.8	24.7	24.7	24.4	24.2	24.3	24.2
Conductividad eléctrica	µS/cm	541	600	560	489	ND	ND	ND
Color	unidades pt-cb	415	186	157	126	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	ND	ND	1.85E+07	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	157	41.8	59.8	26.8	ND	ND	ND

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.





FACULTAD DE INGENIERIA

22 mayo 2014

Parámetro/ punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
DQO	mg/l	540	470	191	172	ND	ND	+ ND
DBO5	mg/l	498	205	133.5	168.5	ND	ND	ND
N total	mg/l	ND	ND	ND	103	56	ND	ND
P total	mg/l	1.58	1.56	1.54	1.5	0.74	0.1	0.64
TSS	mg/l	129.3	66.0	80.9	37	ND	ND	ND
pH	unidades pH	7.05	6.81	7.25	7.13	6.94	6.95	7.07
Solidos disueltos	mg/l	332	331	312	363	ND	ND	ND
Temperatura	°C	26.4	26.3	26.2	26.2	25.6	25.5	25.5
Conductividad eléctrica	µS/cm	626	624	589	684	ND	ND	ND
Color	unidades pt-cb	199	154	121	167	ND	ND	ND
Coliformes fecales	NMP/100 ml	ND	ND	ND	7.40E+0 5	ND	ND	ND
Turbiedad	UNT	98.2	58.1	65.3	39	ND	ND	ND

29 mayo 2014

Parámetro/punto de muestreo	Unidad	S1 - E	S1 - S	FP - S	S2 - S	M - Flor	M - Tierra	M - Grama
N total	mg/l	ND	ND	ND	23.2	14	63.2	4
P total	mg/l	ND	ND	ND	3.2	1.6	0.8	+ 1.2

Muestras analizadas por:  
Ing. Edgar Lemus  
Inga. Clara Recinos

Vo. Bo.

*Zohán Múch Sánchez*  
Ing. Químico Col. No. 102  
MSc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Fuente: laboratorio "Doctora Alba Tabarini Molina"

## Anexo 2

Reportes de análisis de calidad del agua para determinación de RAS.



2a. Calle "B" 35-91, Zona 11 Col. Utatlan II  
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt  
Página Web: ecoquimsa.com  
PBX: (502) 2322 3600

### INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Ing. Clara Recinos  
Responsable: Ing. Clara Recinos  
Dirección: Zona 16 Colonia Vista Hermosa III

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Universidad Rafael Landivar	Muestra simple o compuesta:	Compuesta
Referencia cliente:	PTAR URL	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	22 de mayo de 2014	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	07:30 a 11:30	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua residual ordinaria	Ubicación:	N 14°35'43.1" O 90°29'08.8"
Código de muestra:	14-1005-1		
Lote:	14-1005		

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 22 de mayo de 2014  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 12:30  
Fecha de informe: 03 de junio de 2014

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	Método de análisis <sup>(2)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	0.60	19.04	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.025	4.872	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.060	29.663	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

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

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
QUÍMICO FARMACÉUTICO  
COLEGIADO No. 2265

1/1

Fuente: Ecoquimsa.

## Anexo 3

### Cuadro de selección de bomba centrífuga.

Centrifugal **PUMPS**

#### EBARA CDU & 3U Stainless Steel Centrifugal Pumps

- Stainless steel construction
- Compact close-coupled design
- Continuous-duty rated
- Back pull-out design for easy maintenance

These rugged AISI-304 stainless steel pumps are designed for dependable performance in continuous duty service. The precision pressing process assures consistent wall thickness without the weak thin areas that occur in some other stainless pumps. Close-coupled design saves space and simplifies maintenance and installation. Centerline discharge and foot support ensure maximum resistance to misalignment and distortion from pipe loads. Seals are carbon/ceramic with Viton® elastomers.

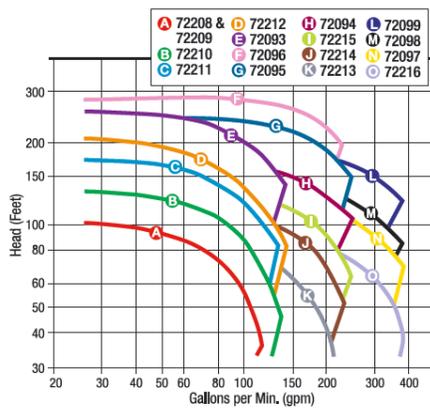
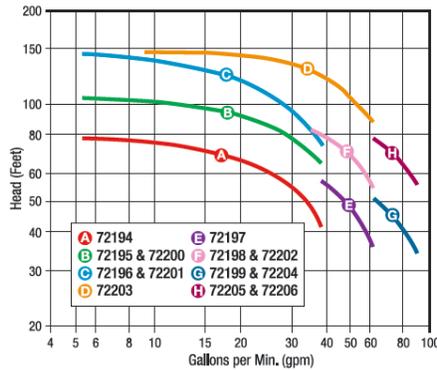
Motors are 3,450 rpm TEFC. CDU Series pumps weigh 42 to 52 lbs. 3 & 5 hp 3U pumps weigh 90 to 110 lbs; 7-1/2 hp models weigh 145 to 155 lbs. Choose from one of the many configurations listed or fax or phone our tech support staff with your specific requirements. Some models ship motor freight. Ask for shipping charges when ordering.



CDU Series



3U Series



#### CDU Series 3/4 hp to 3 hp, 5.5 to 90 gpm

MODEL NUMBER	HP	VOLTS** @ 60 HZ	PHASE	NPT(F) THREADED IN	OUT	STOCK #	EACH
70/1771C	3/4	115/230	1	1/4	1	72194	\$ 619.95
70/3151C	1 1/2	115/230	1	1/4	1	72195	729.95
70/5201C	2	115/230	1	1/4	1	72196	829.95
120/110T1C	1	115/230	1	1/4	1	72197	639.95
120/315T1C	1 1/2	115/230	1	1/4	1	72198	729.95
200/115T1C	1 1/2	115/230	1	1/2	1	72199	744.95
70/315T3C	1 1/2	230/460*	3	1/4	1	72200	684.95
70/520T3C	2	230/460*	3	1/4	1	72201	759.95
120/315T3C	1 1/2	230/460*	3	1/4	1	72202	684.95
120/530T3C	3	230/460*	3	1/4	1	72203	1,099.95
200/115T3C	1 1/2	230/460*	3	1/2	1	72204	709.95
200/330T3C	3	230/460*	3	1/2	1	72205	1,099.95
200/530T3C	3	230/460*	3	1/2	1	72206	1,169.95

\*Will run 208V. \*\*Alternate voltages available. Contact USABlueBook for details.

#### 3U Series 3 hp to 15 hp, 13 to 380 gpm

MODEL NUMBER	HP	VOLTS** @ 60 HZ	PHASE	FLANGED IN	OUT	STOCK #	EACH
32-12530T1C	3	115/230	1	2	1 1/4	72208	\$ 1,749.95
32-12530-T3C	3	230/460*	3	2	1 1/4	72209	1,419.95
32-160A50T3C	5	230/460*	3	2	1 1/4	72210	1,509.95
32-160B50T3C	5	230/460*	3	2	1 1/4	72211	1,509.95
32-200T5T3C	7 1/2	230/460*	3	2	1 1/4	72212	1,849.95
40-125A50T3C	5	230/460*	3	2 1/2	1 1/2	72213	1,459.95
40-125B50T3C	5	230/460*	3	2 1/2	1 1/2	72214	1,459.95
40-160T5T3C	7 1/2	230/460*	3	2 1/2	1 1/2	72215	1,759.95
50-125T5T3C	7 1/2	230/460*	3	2 1/2	2	72216	1,719.95
32-2001180T3C	10	230/460*	3	2	1 1/4	72093	1,995.95
40-1601100T3C	10	230/460*	3	2 1/2	1 1/2	72094	1,895.95
40-200A150T3C	15	230/460*	3	2 1/2	1 1/2	72095	2,239.95
40-200B150T3C	15	230/460*	3	2 1/2	1 1/2	72096	2,239.95
50-1251100T3C	10	230/460*	3	2 1/2	2	72097	1,859.95
50-1601100T3C	10	230/460*	3	2 1/2	2	72098	2,075.95
50-1601150T3C	15	230/460*	3	2 1/2	2	72099	2,355.95

\*Will run 208V. \*\*Alternate voltages available. Contact USABlueBook for details.

#### Stainless Steel Flange Kits for 3U Series Pumps

Includes: SS flanges, gaskets & SS bolts.

DESCRIPTION	STOCK #	EACH
3U32 Flange Kit	72080	\$ 232.95
3U40 Flange Kit	72081	280.95
3U50 Flange Kit	72082	319.95

#### Conversion Factor

$$\frac{\text{Ft. of Head}}{2.31} = \text{psi}$$

operator notes

Fax 1-847-689-3030

Phone 1-800-548-1234

www.usabluebook.com

USABlueBook

1197

Fuente: Ebara.

