

# 1. UTILIZACION DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES DE RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, USAC

*Inga. Agra. Ana Elizabeth Pérez Solares<sup>1</sup>*

## RESUMEN

La humanidad, es capaz de satisfacer sus necesidades aprovechando todos los recursos naturales renovables a su alcance. Los recursos naturales renovables tienen un valor actual y potencial, pues son componentes de la naturaleza. Los cuales son: Físicos: sol, aire y agua; Biológicos: suelo animales y plantas, de los cuales en algún grado depende la vida de los seres vivos, sin embargo en Guatemala cada día son más escasos, por el mal uso y aprovechamiento que hacemos de ellos.

Esta investigación, pretende aprovechar en su totalidad el recurso agua, pues se plantea la reutilización de la misma, después de haber sido tratada por medio de una planta de tratamiento de aguas residuales, que dada su importancia requiere sistemas de canalización, tratamiento, descarga y reuso.

Toda agua servida o residual debe ser tratada tanto para proteger la salud pública, como para preservar el medio ambiente, pues su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Las aguas residuales, constituyen un residuo que no se utiliza, proveniente del uso doméstico, en el presente caso. Están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado universitario e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno en el que se encuentra la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin embargo se tiene la oportunidad de reciclar la materia prima que es el agua y reutilizarla en el riego de las áreas verdes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, evaluando los beneficios que esto conlleva, beneficio económico y ambiental, sin comprometer la satisfacción de la necesidad de riego para las generaciones futuras. Para ello se hace necesario realizar un análisis de los parámetros de agua residual conforme la ley de Descargas vigente, Acuerdo gubernativo 236 – 2006 Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos, para determinar la calidad del agua y sus posibles usos en la universidad, así como la propuesta para dicha reutilización.

## PALABRAS CLAVE

Agua, Aguas residuales, Análisis del agua, Calidad del agua, Efluente, Planta de tratamiento, Reciclaje, Reutilización, Riego,

## ABSTRACT

Humanity is able to meet their needs using all renewable natural resources at your fingertips. The renewable natural resources have a current and potential value, they are components of nature. These are: Physical: sun, air and water; Biological: soil animals and plants, which to some extent depends the life of living beings, but in Guatemala every day more scarce, the misuse and exploitation that make of them.

This research aims to fully water resources, it raises the reuse of the same, having been treated by a treatment plant wastewater, given its importance requires that piping systems, treatment, discharge and reuse.

Any wastewater or waste must be treated both to protect public health, to preserve the environment, as no or improper treatment causes serious pollution problems.

Waste water constitute a residue which is not used, from the household, in this case. Consist of all those waters which are conducted by the university and include sewage sometimes rain water and ground water infiltration which is the treatment plant at the University of San Carlos de Guatemala.

But we have the opportunity to recycle the raw material is water and reuse it to irrigate the green areas of the USAC, evaluating the benefits that entails, economic and environmental benefits without compromising the satisfaction of the need for irrigation future generations. Thus it becomes necessary to analyze the parameters of wastewater Discharge under the law in force, pursuant to Government 236 - 2006 downloads Regulation and reuse of wastewater and sludge disposal, to determine the water quality and its possible uses in college, and the proposal for such reuse.

## KEY WORDS

Water, waste water, water analysis, water quality, effluent, treatment plant, recycling, reuse, irrigation

<sup>1</sup> MSc. Recursos Hidráulicos opción Gestión  
Integrada en Recursos Hídricos

## INTRODUCCIÓN

El propósito de la presente investigación es ofrecer una opción de aprovechamiento y reutilización de aguas residuales, por lo que se plantean distintas definiciones relacionadas al aprovechamiento, reutilización y reciclaje de aguas residuales, desde un punto de vista técnico y legal, por lo que se sustenta con una base teórica de la actual gestión integral del agua.

El uso tradicional de aguas residuales tratadas en la agricultura emplea sustancias potencialmente reciclables como son el nitrógeno y el fósforo como complemento a los abonos durante el período de desarrollo vegetativo.

Se puede utilizar el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales como solución para un tratamiento sostenible del agua, según las necesidades y las condiciones de cada región y/o área específica.

Los procesos de aprovechamiento de las aguas residuales se controlan amplia y analíticamente; en función de las necesidades de las plantas o vegetación en el caso de que se reutilice para riego vegetal.

Se considera que el recurso hídrico tratado se desperdicia al devolverse a la cuenca, por los nutrientes que contiene, los cuales pueden ser aprovechados por la vegetación que se cultiva en el campus universitario, y se disminuiría la carga de nutrientes que contribuye a la eutrofización del lago de Amatitlán de la cuenca respectiva, ya que es el cuerpo receptor.

## METODOLOGÍA Ó MÉTODO

### 1. FASE I GABINETE

#### 1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se recolectó información bibliográfica y cartográfica con el fin de identificar el área para el desarrollo de la investigación. Se caracterizó biofísicamente la zona de investigación, posteriormente se consultaron otras experiencias en dicho tema, y se estableció el área verde que requiere riego y se considera más apta económicamente, la cantidad de agua que se requiere y la que actualmente se utiliza en el campus.

### 2. FASE II CAMPO

#### 2.1 RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO

En esta fase se realizó una evaluación directa del área, ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad universitaria, por medio de un reconocimiento al área y como se encontraba distribuida la planta de tratamiento de aguas residuales, dónde se tomarían las muestras para análisis de calidad del agua.

#### 2.2 MUESTREO DEL AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Se tomaron muestras de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a las normas respectivas de la Comisión Guatemalteca de Normas – COGUANOR –

(colecta, manipulación, transporte y análisis), con el fin de caracterizar dichas aguas de acuerdo con los parámetros de descargas de aguas residuales y con fines de riego. El muestreo permitió la agrupación de información para el planteamiento del plan de uso del agua, a través de la recolección de datos cuantitativos y cualitativos de la calidad del agua, de acuerdo al reglamento vigente de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos acuerdo gubernativo 236 – 2006 y calidad del agua con fines de riego con la metodología FAO – UNESCO usada por el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la USAC.

### 2.3 TOMA DE DATOS

Se midió el caudal para estimar la capacidad de satisfacción de la demanda de agua para riego y determinar aspectos que debían considerarse para aprovechar el efluente

Se consideró el abasto hídrico actual de las áreas verdes que coordina la administración universitaria, es decir el caudal actual utilizado en el riego ya establecido por área, así como, los nutrientes que son utilizados en forma de fertilizantes que la universidad adquiere comercialmente.

## 3. FASE III LABORATORIO

### 3.1 ANALISIS DEL AGUA RESIDUAL

Se realizó una identificación a nivel de laboratorio de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales, de acuerdo al reglamento de ley, en distintos laboratorios del campus central, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (CC.QQ), Facultad de Ingeniería (ING), además se realizó un análisis de calidad del agua con fines de riego al final de cada etapa de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a la clasificación FAO – UNESCO en el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

## 4. FASE IV GABINETE FINAL

### 4.1 CALCULO, INTERPRETACIÓN Y ANALISIS DE DATOS

Se realizó la comparación económica del sistema actual de riego versus el reuso y aprovechamiento del efluente de la planta de tratamiento, para proponer el sistema de aprovechamiento del agua residual.

## RESULTADOS

### 1. CALIDAD DEL AGUA

Los laboratorios para determinar los parámetros de acuerdo a la ley fueron, (1) Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (CC.QQ), (2) Facultad de Ingeniería (ING), y (3) Autoridad en el Manejo de la Cuenca del Lago de Amatitlán – AMSA –, los resultados obtenidos se detallan a continuación:

**Tabla 1. Resultados del análisis de la muestra del Sedimentador secundario de agua residual y comparación con los parámetros físico, químico y bacteriológico del Reglamento de ley.**

PARÁMETRO	DIMENSIONALES	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	RESULTADOS OBTENIDOS MUESTRA	LABORATORIO
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10	0.038	1
Materia Flotante	Ausencia / presencia	Ausente	Ausente	En campo
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	55	2
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20	23.2	2
Fósforo total	Miligramos por litro	10	6.4	2
Potencial de Hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	7.5	2
Coliformes Fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^4$	$> 1.6 \times 10^6$	2
Arsénico	Miligramos por litro	0.1	0	1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1	0	1
Cianuro total	Miligramos por litro	1	0.015	3
Cobre	Miligramos por litro	3	0	1
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1	0.01	3
Niquel	Miligramos por litro	2	0	1
Plomo	Miligramos por litro	0.4	0	1
Zinc	Miligramos por litro	10	0	1
Color	Unidades platino cobalto	500	95	2
DBO5	Miligramos por litro	200	5.5	2

Fuente: Datos de laboratorio y reglamento de ley

De acuerdo al reuso que se desea realizar del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus universitario, los resultados obtenidos de acuerdo a la ley son:

Tipo I reuso para riego agrícola en general, y

Tipo V reuso recreativo (incluido riego de áreas verdes)

Esto dado que las condiciones que se requiere para riego ornamental no son limitantes.

**Tabla 2. Resultados del análisis de la muestra del Sedimentador secundario de agua residual y comparación con los parámetros y límites máximos permisibles para reuso del Reglamento de ley.**

TIPO DE REUSO	PARAMETROS	DIMENSIONALES	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	RESULTADOS OBTENIDOS MUESTRA	LAB*
Tipo I	DBO5	Miligramos por litro	No aplica	5.5	2
	COLIFORMES FECALES	Número más probable en cien mililitros	No aplica	_____	
Tipo V	DBO5	Miligramos por litro	200	5.5	2
	COLIFORMES FECALES	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^3$	$> 1.6 \times 10^6$	2

\* LAB: LABORATORIO Fuente: datos de laboratorio y reglamento de ley

**Tabla 3. Resultados del análisis de la muestra del Sedimentador secundario de agua residual.**

PARÁMETRO	DIMENSIONALES	RESULTADOS OBTENIDOS MUESTRA	LABORATORIO
DBO 5	Miligramos por litro	3.95	2
DQO	Miligramos por litro	82	2

Fuente: Datos de laboratorio

La relación entre DQO y DBO5 también es conocida como índice de bio-degradabilidad, que en el presente estudio corresponde a materia orgánica poco degradable.

DQO/DBO5 =1.5 ⇒ Materia orgánica muy degradable  
 DQO/DBO5 =2 ⇒ Materia orgánica moderadamente degradable  
 DQO/DBO5 =10 ⇒ Materia orgánica poco degradable

Tabla 4. Resultados del análisis de las muestras con fines de riego.

ETAPA	pH	µS/cm C.E.	mEq/litro				ppm				RAS	CLASE
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
Canaleta	8.5	1333	1.62	1.01	3.13	0.87	0	0	0.1	0	2.75	C3 S1
Sedimentador Primario	7.4	1138	1.37	1.03	3.70	0.46	0	0	0.3	0	3.36	C3 S1
Etapa 1	7.5	962	1.37	1.01	3.59	0.41	0	0	0	0	3.29	C3 S1
Etapa 2	7.2	884	1.25	0.97	3.59	0.56	0	0	0.3	0	3.45	C3 S1
Etapa 3	6.5	801	1.50	1.05	3.48	0.36	0	0	0.3	0	3.05	C3 S1
Sedimentador Secundario	6.1	840	1.62	1.15	3.80	0.31	0	0	0	0	3.14	C3 S1

Fuente: Datos de laboratorio Facultad de Agronomía

pH: Potencial de hidrógeno, C.E.: conductividad eléctrica, RAS: relación de adsorción de sodio, ppa: partes por millón, Ca: calcio, Mg; Magnesio, Na: sodio, K: potasio, Cu: cobre, Zn; zinc, Fe: hierro, Mn: manganeso.

Según clasificación FAO – UNESCO, utilizada por el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, las muestras se clasifican como: **C3S1**

**C3:** Aguas de alta salinidad, lo cual indica que no pueden usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente, aún con drenaje adecuado se puede necesitar prácticas especiales de control de salinidad, debiendo por tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales.

**S1:** Aguas de baja sodicidad (bajo contenido de sodio), pueden usarse para el riego en la mayoría de suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable, no obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio. Sandoval Illescas, J. (1989)

Con el acoplamiento de la planta al suelo, la tierra afectada por sal puede usarse en forma sustentable, utilizando plantas tolerantes a la salinidad y al riego de pozos salados. Mas de un ciento de especies se han clasificado, incluyendo zacates, arbustos y una variedad de árboles; muchos pueden emplearse para la alimentación humana y animal, maderable, combustible, abonos verdes para el suelo, para el procesamiento de productos industriales como papel, fibras, resinas, químicos, bio-gas, alcohol, ornamentales, medicinales y muchos otros más.

La lista de especies mundial es muy amplia, ya que son varios países los que están trabajando en forma extensiva en el rescate y reincorporación a la producción de suelos salinos. Holanda, Estados Unidos, Canadá, Australia, Egipto, India, Argentina, Perú, Vietnam, Bélgica, Inglaterra, Irak, Irán, Marruecos, Myanmar, Pakistán, Siria, Tunes y muchos otros países están por medio de investigación

Dado que por el período de lluvias en Guatemala, se realiza un autolavado periódico del suelo y la cobertura vegetal que se plantea favorecer en su mayoría es de tipo ornamental, siendo especies tolerantes y que se pueden acoplar a la salinidad.

## 2. MEDICION DE CAUDAL

### 2.1 AFOROS

Con el método sección – velocidad, se calculó la velocidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en distintos puntos, con molinete para determinar el caudal de agua que es tratado en la planta del campus. Utilizando la siguiente fórmula de molinete para calcular la velocidad:

$$V = 0.6860 (R/t) + 0.0030$$

$$R = \text{No de pulsos} * 5$$

$$R = \text{revoluciones} \quad t = \text{tiempo (segundos = s)}$$

$$V = m / s$$

Y la siguiente formula para calcular el caudal en ambos métodos

$$Q = V * A$$

Donde:

$$Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{velocidad (m/s)}$$

$$A = \text{área (m}^2\text{)}$$

Tabla 5. Caudales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

PUNTO DE AFORO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VELOCIDAD (FÓRMULA DEL MOLINETE) (m / s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> / s)	CAUDAL (L / s)
Entrada canal	0.056	1.01	0.05651	56.51
Entrada Sedimentador primario	0.056	1.45	0.08116	81.16
Salida Sedimentador secundario	0.1313	0.36	0.04768	47.68

Datos tomados en la PTAR el día 13 de mayo 2011 las 12:00 horas del medio día.

Tabla 6. Caudal de agua tratado en la Planta de Tratamiento

PUNTO DE AFORO	HORA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VELOCIDAD (FÓRMULA DEL MOLINETE) (m / s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> / s)	CAUDAL (L / s)
Salida Sedimentador Secundario	07:30	0.1218	0.04	0.005	5.01
	08:30	0.1218	0.02	0.003	2.69
	09:00	0.1218	0.04	0.005	5.01
	10:00	0.1320	0.10	0.013	12.97
	11:00	0.1370	0.14	0.019	18.69
	12:00	0.1370	0.16	0.021	21.30
	13:00	0.1320	0.14	0.018	18.00
	14:00	0.1269	0.12	0.014	14.89
	15:00	0.1269	0.16	0.019	19.72

Datos tomados en la PTAR el día 26 de octubre 2011

El caudal promedio es 0.013 en metros cúbicos por segundo y su equivalente 13.14 litros por segundo, obtenido del aforo realizado con el método sección – velocidad, calculando la velocidad con molinete.

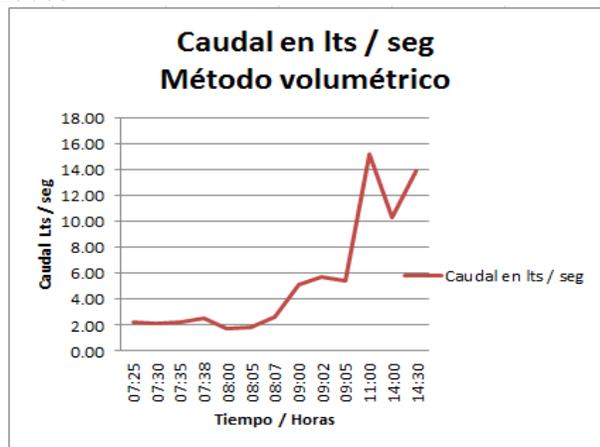
Tabla 7. Caudal de agua tratado en la Planta de Tratamiento (Método volumétrico)

Sedimentador secundario	Tiempo promedio segundos	Volumen m <sup>3</sup>	Caudal en m <sup>3</sup> / s	Caudal en L / s
07:25	162	0.3657	0.0023	2.2576
07:30	95	0.2009	0.0021	2.1147
07:35	67	0.1473	0.0022	2.1988
07:38	59	0.1473	0.0025	2.4970
08:00	100	0.1741	0.0017	1.7411
08:05	80	0.1473	0.0018	1.8415
08:07	55	0.1473	0.0027	2.6786
09:00	21	0.1082	0.0052	5.1511
00:02	19	0.1082	0.0057	5.6933
09:05	20	0.1082	0.0054	5.4087
11:00	24	0.3657	0.0152	15.2387
02:00	31	0.3194	0.0103	10.3023
02:30	23	0.3194	0.0139	13.8856

Datos tomados en la salida del Sedimentador secundario de la PTAR los días 4 y 9 de noviembre 2011

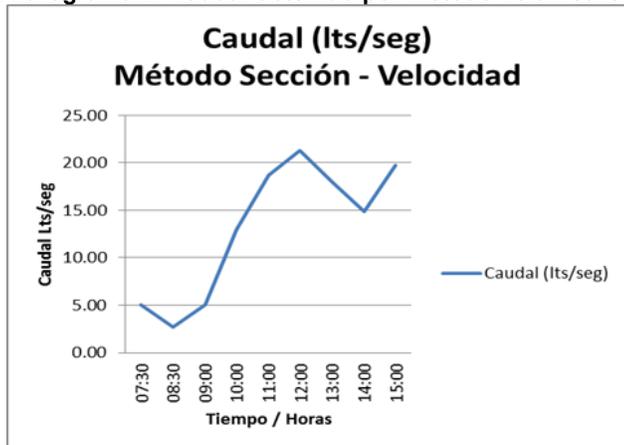
El caudal promedio es 0.0055 en metros cúbicos por segundo y su equivalente 5.46 litros por segundo, obtenido del aforo realizado por medio del método volumétrico. Considerando una jornada laboral de ocho horas con un volumen de 43 litros por segundo.

A continuación se presentan dos hidrogramas de tendencia del caudal en litros por segundo, con respecto al aforo de una jornada laboral, de acuerdo a los dos métodos de aforo utilizados



Hidrograma 1: Caudal obtenido por método Sección - velocidad

Hidrograma 2: Caudal obtenido por método volumétrico



De las gráficas anteriores, podemos deducir que al inicio de la jornada laboral el caudal es menor, y va en aumento a medida que transcurre el día, con picos máximos en determinadas horas.

### 3. FUENTES QUE DESCARGAN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Las fuentes reconocidas que descargan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del campus universitario son:

- Aguas sanitarias, alcantarillado de edificios y campus en general
- Agua pluvial, mezclada con aguas sanitarias
- Diluciones de químicos de laboratorios de unidades académicas

Para determinar la disposición final de los desechos líquidos de las unidades académicas que cuentan con laboratorio: Agronomía, Ingeniería, Veterinaria, Odontología, y Farmacia, se solicitó a dichas unidades académicas indicaran el procedimiento que realizan para

disponer finalmente de los líquidos químicos utilizados, indicándose lo siguiente:

La Facultad de Odontología indicó que no se realiza ningún tratamiento especial y los líquidos que se utilizan en los laboratorios y clínicas egresan directamente al drenaje del campus universitario.

La Facultad de Agronomía indicó que en los laboratorios de: Suelo - Agua - Plantas y Química, los ácidos, reactivos, etc, que se utilizan van directo a la planta de tratamiento, de la siguiente manera: en el laboratorio de Suelo - Agua - Planta, se desechan diluciones de: Ácido sulfúrico, Ácido bórico, Ácido clorhídrico, Ácido acético, Hidróxido de sodio, acetato de amonio, un promedio de 4 litros por semana los días jueves. En el laboratorio de Química, se recuperan y almacenan en botes y frascos de vidrio color ámbar los químicos concentrados y considerados más tóxicos, los líquidos que desechan son: sales diluidas, sulfatos, carbonatos, aminoácidos, lípidos, proteínas, carbohidratos que son utilizados en las prácticas de laboratorio, diariamente, por lo que en promedio por semana de diluciones se desechan 10 litros.

La Facultad de Ciencias químicas y farmacia, indicó la disposición de desechos líquidos, de acuerdo a sus escuelas de Química, Química biológica, Química farmacéutica, Biología y Nutrición. Indicando generalizadamente, que el lavado de cristalería, ciertas diluciones ácidos y bases son descartados en el drenaje de los lavaderos de los laboratorios, así mismo se indica que ácidos y bases más concentrados son descartados en la elaboración de planchas de cemento generalmente en noviembre de cada año, y los desechos que en su mayoría son inorgánicos insolubles en agua y que puedan contener metales o material peligroso al ambiente, son almacenados y algunos son recuperados, sin embargo la inquietud y preocupación que presentan todos los laboratorios, es la seguridad por la cantidad de producto almacenado en los laboratorios.

De las demás unidades académicas que cuentan con laboratorios no hubo respuesta.

### 4. AREAS DE RIEGO

Las áreas que se deben establecer para riego en función de la calidad del agua tratada de planta de tratamiento del campus, de acuerdo a los parámetros de ley son; riego agrícola u ornamental en la ciudad universitaria.

Es decir que se puede utilizar en jardines y áreas verdes de todas las facultades y escuelas de la ciudad universitaria, además en los viveros ornamentales que la administración universitaria dirige y también en las granjas de Agronomía y Veterinaria, de acuerdo a la reglamentación de ley por tipo de uso, todo lo anterior debido a los nutrientes que posee, considerando su alta salinidad, a manera de fertirriego para recuperación o mejoramiento de suelos o como fertilizante de cultivos que previo a su consumo requieran procesos industriales, no para cultivos de consumo crudo o precocado.

## 5. ANALISIS ECONOMICO DE ABASTO HIDRICO ACTUAL

Tabla 8. Gasto de agua en época seca por día.

EQUIPO	HORARIO/VIAJE	VOLUMEN POR DIA EN GALONES	VOLUMEN POR DIA EN LITROS	VOLUMEN POR DIA EN m <sup>3</sup>
Camión Cisterna	3 /día	7,500	28,387.5	28.387
Aspersor	30 minutos por día	105	397.425	0.397
Aspersores (800)	30 minutos por día	84,000	317,940	317.94
Total agua por día	Cisterna y aspersores	91,500	346,327.5	346.32

Fuente: Datos proporcionados en entrevista por encargados de riego

El camión cisterna realiza un promedio de 3 viajes por día, en un tiempo estimado de llenado por viaje de 1 hora 30 minutos, con un volumen de 2,500 galones por viaje, su equivalente 7,500 galones de agua por día, obtenida de los pozos de agua que abastecen a la ciudad universitaria. El total de aspersores en funcionamiento es de 800 de diversos circuitos de riego de las áreas verdes de la universidad, y actualmente se están instalando 700 aspersores más para el camellón central, todos estos controlados por la administración universitaria. Los aspersores funcionan en turnos de 30 min por día de lunes a viernes, con un caudal individual de 3.5 galones por minuto, abarcando un área de riego cada uno de 8.5 metros cuadrados, es decir que se cubren 6,800 mts<sup>2</sup> en

riego por parte de la administración central, sin contar los sistemas de riego que cada facultad administra independientemente. Por lo que se considera que el caudal promedio por jornada laboral de 8 horas en galones por minuto es de 91,500.

Los pozos que cubren la demanda de agua para riego de jardines son el 1 y el 2, los cuales funcionan automáticamente 15 días del mes cada uno y su horario de bombeo es de acuerdo a la demanda, ya que el equipo se activa y detiene automáticamente, el caudal promedio de cada pozo es de 240.5 Gal/min, su equivalente 54.62 M3 / hora

Tabla 9. Costo del gasto de agua para riego en la USAC.

ELEMENTO	COSTO UNITARIO	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
Cisterna	Q 307.53	Q 18,451.80	Q 221,421.60
Pozo (pago promedio mensual de c/u) (2 pozos)	Q 3,024.88	Q 6,049.75	Q 72,597.00
Totales	Q 6,357.29	Q 24,501.56	Q 294,018.60

Fuente: datos calculados

Tasa de cambio según Banco de Guatemala: Enero 2012 \$ 1.00 por Q 7.82

El costo de bombeo por metro cúbico es de: Q 0.07692, hacia la red de distribución de agua para riego, el costo por metro cúbico de traslado de agua en camión cisterna es en promedio de Q 32.5, por lo que un viaje de camión cisterna tiene un costo de Q 307.53, por lo anterior, podemos decir que el costo de riego con bombeo a aspersores por metro cuadrado es de Q 0.0036 y el costo de riego con camión cisterna por metro cuadrado es de Q 0.1550

## 6. DISEÑO HIDRAULICO PARA REUSO

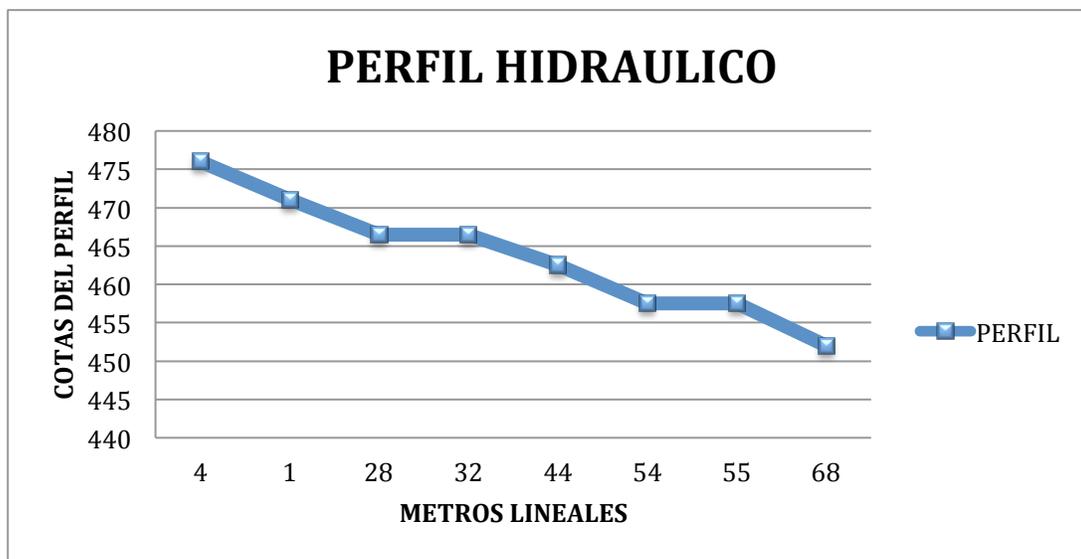
El diseño hidráulico, comprende el sistema de captación, almacenamiento y traslado a la parte alta de la planta de tratamiento de aguas residuales. Considerando una altura vertical de 24 mts y una distancia horizontal de 70 mts, desde el Sedimentador secundario a la garita de entrada de la planta de tratamiento.

Tabla 10. Elementos del diseño hidráulico

Elementos	Capacidades / requerimientos		
	Unidad de medida	Cantidad	Promedio
Caudal a utilizar	Lts / S	12	12
Cisterna	Lts	2	10,000
Tubería	4" PVC Metros 160 psi	85	85
Codos	Pvc 45°	6	6
Codo	PVC 90°	1	1
Bomba	Hp	1	6

Fuente: datos calculados

Grafico 1: Perfil hidráulico



7.

**PROPUESTA ECONOMICA**

Se considera la propuesta de inversión inicial y mantenimiento mensual, es decir el combustible y lubricantes necesarios para bombear el agua residual, considerando que se utilizará de acuerdo a los requerimientos de riego.

Tabla 11. Elementos del diseño hidráulico vrs costos

ELEMENTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Cisterna	10,000 lts	2	Q 14,905.00	Q 29,810.00
Tubería	Tubo / 6mts c/u 160 psi Diámetro de 4"	15	Q 509.61	Q 7,644.15
Codos	PVC 45°	6	Q 1,346.92	Q 8,079.52
Codo	PVC 90°	1	Q 1,346.92	Q 1,346.92
Bomba	6 hp	1	Q 29,000.00	Q 29,000.00
Planta eléctrica	2000 Watt	1	Q 3,000.00	Q 3,000.00
Combustible mensual	Galones	20	Q 35.00	Q 700.00
Lubricantes mensuales	Litros	5	Q 32.00	Q 160.00
<b>TOTAL</b>				Q 79,742.59

Datos obtenidos de costos de mercado de dichos elementos

Se considera que los elementos contemplados para el diseño hidráulico son los más recomendables y con los que se incurriría en menor gasto, dada su durabilidad, disponibilidad y garantía en el mercado comercial. Se debe considerar que por el tipo de nutrientes que lleva el agua, el costo de fertilización disminuirá en un 50 %, es decir que de una inversión promedio anual de Q 40,000.00 en fertilizantes, se contempla un consumo anual de Q 20,000.00 para otros agroquímicos. El costo de mantenimiento de bombeo mensual es de Q860 entre combustibles y lubricantes, sin embargo se calcula que la inversión inicial se recupera en 2 años 7 meses, calculando un ahorro promedio anual de Q 29,616.32 en consumo de agua y fertilizantes, y una inversión inicial de Q 79,742.59, se deduce que se tiene la primera cantidad anual para invertir en la segunda.

## CONCLUSIONES

El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales puede reducir en un 26.5 % los costos de riego de áreas verdes; pues se disminuiría el bombeo del pozo de agua para riego que utiliza diariamente 63.54 galones por minuto, de los 240.5 galones por minuto que bombean los pozos, así como determinados fertilizantes, por la carga de nutrientes que tiene el agua residual tratada.

De acuerdo a los parámetros del Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales Acuerdo Gubernativo 236 – 2006, la calidad del agua del efluente es apta para: **Tipo I** reuso para riego agrícola en general, y **Tipo V** reuso recreativo (incluido riego de áreas verdes).

De acuerdo a la clasificación FAO – UNESCO del agua con fines de riego, de cada una de las etapas de tratamiento de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad universitaria las muestras se clasifican como: **C3S1**

**C3:** Aguas de alta salinidad, utilizables en riego, cuidando el drenaje y las especies vegetales tolerantes. **S1:** Aguas de baja sodicidad (bajo contenido de sodio), pueden usarse para el riego en la mayoría de suelos más no en cultivos sensibles, como algunos frutales. Las plantas pueden acoplarse a un suelo salino, y además existen plantas tolerantes a la salinidad y el agua dulce se reserva para consumo humano y animales de granja. Existen otras investigaciones de reuso de agua residual tratada con distintos métodos y utilizando distintas etapas con respecto a producción en vivero de determinadas especies y para especies de consumo humano, demostrándose mayor productividad en su fase de crecimiento y considerando que los productos comestibles deben tener un proceso industrial previo a su consumo para eliminar patógenos. Por lo anterior en la universidad se puede utilizar para distintos tipos de grama (*Cynodon dactylon* (Bermuda), *Pennisetum clandestinum* (Kikuyu, *Stenotaphrum secundatum* (Gramón, Hierba de San Agustín), esta es la más dura de todas y *Zoysia japonica* (Zoysia)), que actualmente se utilizan en jardinería, para lo cual se hace una preparación del sustrato donde se siembra, el cual mejora el drenaje de dichas áreas, y es el área de mayor demanda del recurso hídrico, además de estar presentes distintas especies arbóreas y arbustivas tolerantes a la salinidad como: Casuarina equisetifolia, eucaliptos spp. Ficus, algunas variedades de pino, Dracaena, Mirto, algunas variedades de palmera ornamental, trepadoras como la Bouganvillia spp, Hedera Helix, algunos cactus de jardín y algunas herbáceas ornamentales de uso común.

De acuerdo a la investigación realizada, se determinó que todos los laboratorios que realizan prácticas en la ciudad universitaria de las Facultades de Odontología, Agronomía, Ciencias químicas y Farmacia, descargan diluciones de ácidos y bases al alcantarillado general, periódicamente, y guardan otros elementos químicos contaminantes en botellas tipo pet y frascos de vidrio ámbar en los laboratorios, desde hace 10 años promedio, lo cual genera riesgo de contaminación a la salud y al ambiente, sin embargo no hubo respuesta de las

Facultades de Ingeniería y Medicina Veterinaria y Zootecnia, pero se asume que son las mismas condiciones.

Las áreas que se deben establecer para riego en función de la calidad del agua tratada de planta de tratamiento del campus, de acuerdo a los parámetros de ley son; riego agrícola u ornamental en la ciudad universitaria.

El abasto actual de agua para riego es de dos pozos de agua, el cual implica un 26.5% del caudal de los mismos diariamente para el sistema de riego y el cisterna, así que el costo promedio mensual de agua de pozo es de Q 801.36, anual de Q 9,616.32, además del costo anual de fertilizantes, el cual puede ascender en promedio a Q 40,000.00, y utilizando el efluente de la planta de tratamiento hay una inversión inicial de Q 79,742.59, la cual se recupera en 2 años 7 meses, considerando siempre la compra de Q 20,000.00 en fertilizantes anualmente.

Para poder utilizar el agua, es necesario subir de la cota 452 correspondiente al Sedimentador secundario a la cota 471 a nivel de suelo en la entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales y a la cota 476, considerando altura de tanque y camión cisterna, captando y almacenando el agua en dos tanques cisterna desde el Sedimentador secundario y elevada por medio de una bomba de 6 hp al punto de salida, por medio de tubería de pvc, hasta la entrada a la planta, de acuerdo al plano de perfil de la planta de tratamiento.

Se estima una inversión inicial de Q 79,742.59 para reutilizar el agua residual, y un costo de mantenimiento que contempla el combustible y lubricantes de Q 860.00 mensuales, con lo que se reducirá el consumo de agua de pozo, así como de fertilizantes.

La reutilización directa de aguas residuales tratadas, se ha desarrollado en aquellos países con elevada capacidad tecnológica, escasez de agua y un nivel económico alto.

En el presente caso la finalidad de la reutilización es aumentar el rendimiento aprovechando la materia orgánica y los nutrientes del agua residual.

## BIBLIOGRAFÍA

- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, GT. 2006. Acuerdo gubernativo 236 – 2006 Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos. Diario de Centroamérica, Guatemala, Mayo 11: Edición electrónica No. 805.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA 1995 Gestión integral del agua, ciclo integral del agua, depuración y reutilización, estrategia de reutilización España Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnnextoid=facaa7ab49be3210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=4d4d1bf6356b5210VgnVCM1000001325e50aRCRD> Consultado Mayo 20 de 2009
- GISPERT, CARLOS. Enciclopedia práctica de la Agricultura y la Ganadería Editorial Océano, España 1032 p.

- HERRERA, ISAAC 1995 Manual de Hidrología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de agronomía 223 p.
- IUPA (Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas) Universidad Jaume I de Castellón – España Disponible en: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH28.pdf> Consultado 20 Mayo 2009.
- SANDOVAL ILLESCAS, JORGE 1989 Principios de Riego y Drenaje Universidad de San Carlos Facultad de Agronomía 344 p.
- SEGUI AMORTEGUI, LUIS ALBERTO 2004 Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Biotecnología Agroalimentaria y Biotecnología, Tesis doctoral en biotecnología agroalimentaria y sostenibilidad Disponible en: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/7053> Barcelona, España 256 p. Consultado Mayo 20 de 2009