

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE
LECHUGA (*Lactuca sativa l.*) HIDROPÓNICA UTILIZANDO
AGUA REGENERADA COMO FUENTE DE RIEGO EN
COMPARACIÓN CON SOLUCIONES HIDROPÓNICAS
COMERCIALES.

Trabajo de graduación presentado por
Juan Estuardo Bocel Pocop
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en tecnología
Agroforestal

Guatemala
2015

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE
LECHUGA (*Lactuca sativa l.*) HIDROPÓNICA UTILIZANDO
AGUA REGENERADA COMO FUENTE DE RIEGO EN
COMPARACIÓN CON SOLUCIONES HIDROPÓNICAS
COMERCIALES

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

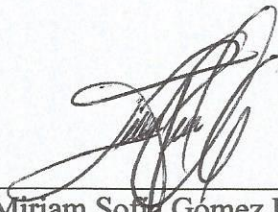


EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE
LECHUGA (*Lactuca sativa l.*) HIDROPÓNICA UTILIZANDO
AGUA REGENERADA COMO FUENTE DE RIEGO EN
COMPARACIÓN CON SOLUCIONES HIDROPÓNICAS
COMERCIALES.

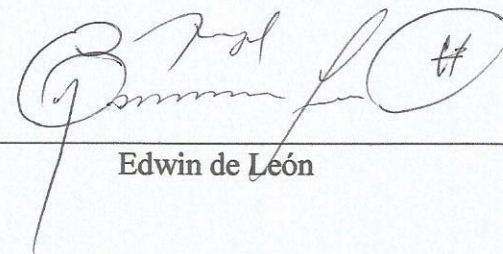
Trabajo de graduación presentado por
Juan Estuardo Bocel Pocop
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en tecnología
Agroforestal

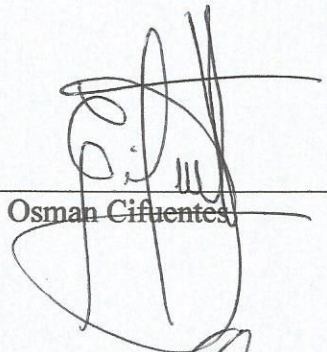
Guatemala
2015

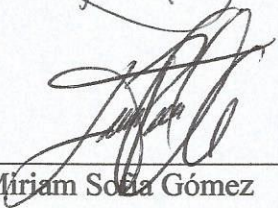
Vo. Bo.

f0 
Miriam Sofia Gómez Pérez

Tribunal examinador:

f0 
Edwin de León

f0 
Osman Cifuentes

f0 
Miriam Sofia Gómez

Fecha de aprobación: Guatemala 26 de enero de 2015.

ACRÓNIMOS

CEA	Centro de Estudios Atilán
CIATA	Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
EPA	US Environmental Protection Agency
INCAP	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá
INE	Instituto nacional de Estadística de la república de Guatemala
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PROARCA	Programa Ambiental Regional para Centro América
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México
UVG	Universidad del Valle de Guatemala

PREFACIO

Actualmente el lago Atitlán tiene problemas con cianobacterias debido al ingreso de nutrientes de diversas fuentes por ejemplo aguas residuales, aguas mieles, deforestación, erosión y el mal uso de los fertilizantes inorgánicos.

Con lo anteriormente mencionado, surge la necesidad de proponer soluciones para detener el deterioro del lago Atitlán, tras investigar las alternativas del uso de aguas regeneradas y la existencia plantas de tratamiento en la zona, se propone el uso correcto de este tipo de agua como fuente principal de nutrientes en un sistema de riego hidropónico. Actualmente las personas locales hacen uso del agua regenerada en el sistema agrícola, pero desconocen que existen reglamentos y restricciones de la misma.

La información sobre la reutilización del agua regenerada en la cuenca Atitlán es escasa, por lo cual es necesario crear líneas de investigación que brinde información y el uso adecuado de este recurso hídrico. De esta manera obtener una fuente de nutrientes alternativa reduciendo el uso de los fertilizantes inorgánicos y el ingreso de nutrientes a los cuerpos de agua.

El sistema hidropónico es una alternativa, en el uso eficiente del agua y distribución de nutrientes requeridos para un determinado cultivo, conociendo sus ventajas y desventajas fue ideal para proponer este tipo de experimento, utilizando dos tipos de agua; agua entubada y agua regenerada como un sistema de riego disponibles en el área, utilizando un cultivo como filtro de nutrientes y minimizando la contaminación de los cuerpos de agua.

Agradeciendo las oportunidades de educación y tecnología que brinda la Universidad del Valle de Guatemala en los campus Altiplano y Central, específicamente al Centro de Estudios Atitlán y Departamento de Bioquímica y Biología por brindarme el espacio para el análisis de muestras de agua y material vegetal para esta investigación.

ÍNDICE

	Página
ACRÓNIMOS.....	i
PREFACIO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
A. Objetivos del estudio.....	3
B. Hipótesis.....	4
III. MARCO TEÓRICO	5
A. Uso del agua.....	5
B. Aspectos biológicos del agua	5
C. Aguas residuales.....	6
D. Agua regenerada	14
E. Reglamentos para reutilización	17
F. Hidroponía.....	19
G. Cultivo lechuga	22
IV. METODOLOGÍA	29
A. Sitio experimental	29
B. Material experimental	29
Croquis de la planta de tratamiento del Barrio San Antonio de Sololá.....	30
D. Tratamientos	31
E. Diseño experimental.....	31
F. Variables de respuesta	32
G. Croquis experimental	33
H. Manejo agronómico del experimento.....	34
V. RESULTADOS	36
A. Crecimiento y días a cosecha	36
B. Rendimiento	37
C. Relación entre circunferencia, altura y longitud de raíz en centímetros (cm)	38
D. Análisis microbiológico	39
E. Análisis químico.....	42
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
A. Altura	46
B. Días a cosecha	46

C. Rendimiento	46
D. Análisis microbiológico	47
E. Análisis químico	48
VII. CONCLUSIONES	49
VIII. RECOMENDACIONES	50
IX. BIBLIOGRAFÍA	52
X. ANEXOS	56
A. Fotografías del experimento.....	56
B. Acuerdo 12-2011 Acuerdo 12-2011 descarga de aguas residuales en la cuenca Atitlán.....	60
C. Resultados del departamento de Bioquímica y Microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala campus Central.....	71
D. Informe de análisis de aguas residuales de la planta de tratamiento del barrio San Antonio, Sololá	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Fases que debería de tener el tratamiento de aguas residuales	8
2. Valores máximos permisibles para la cuenca Atilán.....	18
3. Concentraciones para el preparado de soluciones hidropónicas	22
4. Información nutricional de la lechuga.....	23
5. Tratamientos de acuerdo al agua utilizada	31
6. Alturas y días a cosecha de los tratamientos en centímetros	36
7. Comparación de rendimientos promedios en Kg/Ha ⁻¹ entre soluciones hidropónicas y agua de tratamiento secundario	37
8. Análisis de varianza del diseño completamente al azar	37
9. Diferencia mínima significativa al 5%	37
10. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en fuentes de agua.	40
11. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y <i>E. coli</i> en el agua para riego de cada tratamiento	40
12. Unidades formadoras de colonias por gramo de coliformes totales y <i>E. coli</i> en lechuga	41
13. Concentraciones de amonio, nitratos y orto-fosfatos en microgramos por litro.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Componentes básicos para tratar aguas residuales.....	7
2. Croquis de la planta de tratamiento del cual se obtuvo el agua a utilizar.....	30
3. Croquis y distribución del experimento	33
4. Fotografías del trasplante	34
5. Relación entre alturas y días a cosecha	36
6. Rendimiento promedio en Kg/Ha ⁻¹	38
7. Relación entre circunferencia, altura y longitud de raíz en centímetros (cm).	39
8. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y <i>E. coli</i> en las fuentes de agua.....	40
9. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y <i>E. coli</i> en los tratamientos utilizados para riego.....	41
10. Unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) de coliformes totales en lechuga.	42
11. Concentraciones de amonio en tratamientos microgramos por litro	43
12. Concentraciones de nitratos en tratamientos en microgramos por litro.	44
13. Concentraciones de orto-Fosfatos en tratamientos en microgramos por litro.	44

RESUMEN

En los últimos años la contaminación ha afectado fuentes de agua en todo el mundo, el lago de Atitlán no es la excepción, observando cambios importantes en su ecosistema durante el año 2008, las poblaciones de algas y cianobacterias aumentaron, debido al incremento de nutrientes en el sistema, las fuentes principales de nutrientes son; aguas residuales crudas y regeneradas, descargando un porcentaje en los cuerpos de agua receptores.

Se desarrolló un experimento utilizando el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales, para conocer el aporte de nutrientes y su eficiencia utilizando un sistema hidropónico vs soluciones hidropónicas distribuidas por el INCAP.

Utilizando 5 tratamientos que fueron; efluente de la planta de tratamiento, agua entubada, efluente de la planta de tratamiento más soluciones hidropónicas, agua entubada más soluciones hidropónicas, agua entubada más efluente de la planta de tratamiento en relación 1:1.

Se realizó un análisis microbiológico determinando que las fuentes de agua estaban contaminadas con coliformes y *E. coli*, por lo tanto, se aplicó un tratamiento terciario de desinfección basado en cloro al 5% dosis comercial y así cumpliendo con las normativas de calidad de agua para el uso correcto en la zona. Además, se realizó un análisis químico determinando nitrógeno y fósforo asimilables para las plantas.

Los resultados indicaron que los tratamientos con mayor rendimiento y desarrollo vegetal fueron; agua más soluciones hidropónicas en su mezcla, además se observó que el tratamiento del efluente tuvo menor producción comparado con los anteriores, indicando que debe realizarse un plan de fertilización adicional.

I. INTRODUCCIÓN

La cuenca Atilán ha sufrido cambios en los últimos años, durante el año 2008 se observó una gran capa de cianobacterias en la superficie del agua, debido al aumento de nutrientes que ingresan en el lago, mediante aguas residuales tratadas y no tratadas, en la zona se cuenta con plantas de tratamiento que no remueven nutrientes, por lo tanto, esto no contribuye a ninguna mejora para el cuerpo de agua, sumando un porcentaje de contaminación.

En la cuenca existen siete plantas de tratamiento con tratamiento secundario, indicando que el efluente está cargada con nutrientes, el municipio de Sololá cuenta con dos plantas de tratamiento, parte del efluente de estas son utilizadas para el riego agrícola, el acuerdo gubernativo 12-2011 establece reglamentos y restricciones en cuanto a la reutilización del agua específicamente para la cuenca Atilán, pero los agricultores las desconocen y las autoridades no llevan un control adecuado, por lo tanto, no se realiza un uso correcto del recurso hídrico.

La siguiente investigación propone el uso de tecnología en hidroponía como un sistema de riego, usando como materia prima el agua regenerada y una alternativa de nutrientes para los cultivos agrícolas, además de generar información básica en el mecanismo de filtros biológicos de nutrientes, minimizando la contaminación en la cuenca.

El efluente del agua regenerada se obtuvo de la planta de tratamiento del barrio San Antonio ubicada en el municipio de Sololá, con el fin de evidenciar y comparar la carga de nutrientes que contiene ésta, además de compararla con soluciones hidropónicas comerciales disponibles en el mercado de Guatemala.

Se proponen cinco tratamientos a partir del efluente de la planta de tratamiento y agua entubada de la zona como un sistema de riego, siendo; efluente de la planta de tratamiento, agua entubada, efluente de la planta de tratamiento más soluciones hidropónicas, agua entubada más soluciones hidropónicas y agua entubada más efluente de la planta de tratamiento en relación 1:1. Esperando que alguno de los tratamientos demuestre funcionalidad, adaptabilidad al sistema del productor local brindándole calidad sanitaria del producto.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de los habitantes de Sololá se dedica a la agricultura, uno de los principales problemas, es la pérdida de capacidad productiva del suelo, debido al mal uso de los fertilizantes inorgánicos, que contribuye a la eutrofización de los cuerpos de agua, sin embargo, su uso constante persiste a pesar de su alto costo (Romero, 2009). Algunos agricultores han decidido optar por técnicas alternativas de producción como la hidroponía, que tiene la ventaja de no depender directamente del suelo, solo necesita un sustrato que le administre nutrientes a la planta y pueda mantener la humedad. Aunque la tecnología hidropónica es buena, presenta ciertos inconvenientes al momento de implementarlo, como por ejemplo el costo de los nutrientes solubles en agua, la obtención de soluciones, gastos de transporte, conocimientos para preparar las soluciones A y B (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2002).

El agua es vital en la agricultura, debido a que la producción de biomasa está ligada a la necesidad de la misma, en Sololá se tienen varias fuentes de agua como ríos, nacimientos y en algunos casos los efluentes o agua regenerada de las plantas de tratamiento (Palacios, 2012). Aguas regeneradas son aquellas que provienen de la depuración en fase secundaria o terciaria de las aguas negras, no siendo aptas sanitariamente para el consumo humano, en la práctica agrícola se permite el reúso de un efluente de aguas residuales, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para utilizarlos en la fertilización de cultivos, los cuales no tengan contacto directo con las partes comestibles (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

En el año de 1995 se finalizó la construcción de la planta de tratamiento del Barrio San Antonio en la cabecera de Sololá. Desde ese entonces, ha funcionado por 19 años y el agua regenerada se utiliza para riego y no como materia prima para fertilizar los cultivos agrícolas. De acuerdo con la municipalidad de Sololá, el efluente de la planta de tratamiento es utilizado por agricultores, pero se desconoce el uso adecuado de este tipo de agua.

En otros países, tal es el caso de España se ha implementado agua regenerada como fuente de nutrientes en sistemas de riego en cultivos agrícolas sin tener contacto con las partes comestibles reduciendo el riesgo de enfermedades (Porta, 2005).

En Sololá se ha utilizado el agua regenerada como sistema de riego en cultivos agrícolas, pero esta tiene contacto directo con las partes comestibles, principalmente los cultivos como hojas, tubérculos, raíces y bulbos (Aldana, 2008).

Existen siete plantas de tratamiento en toda la cuenca Atitlán, estas son de tratamiento secundario, se requiere un tratamiento terciario que remueva nutrientes y patógenos (Palacios, 2012).

La eutrofización es un proceso que resulta del aumento de nutrientes a cuerpos de agua, principalmente nitratos y fosfatos, que proporcionan un desarrollo acelerado de fitoplancton y plantas acuáticas. La eutrofización natural ocurre normalmente en cualquier sistema acuático continental o de aguas costeras. Pero este proceso se ve acelerado por las actividades agrícolas, vertimientos industriales y domésticos en los ecosistemas acuáticos (Roldan Pérez, 2008, pág. 139)

El propósito de esta investigación es reducir el impacto de la eutrofización en las fuentes de agua y a su vez el uso alternativo de agua regenerada no solo como un sistema de riego sino además un medio de aporte de nutrientes para los cultivos.

Se implementará un sistema de producción que medirá los nutrientes que aportan las aguas regeneradas y comparándola con agua entubada más soluciones nutritivas (distribuidos por INCAP) de acuerdo a las exigencias nutricionales del cultivo de la lechuga, además se comparara con las fuentes de agua, con su composición química natural y con soluciones nutritivas.

La forma para medir la eficiencia del sistema fue el rendimiento total y la adaptación al agua regenerada de tal manera que las plantas aprovechen los nutrientes y conservar la inocuidad del producto.

A. Objetivos del estudio

1. **Objetivo general.** Determinar el rendimiento del cultivo de lechuga (*L. sativa*) utilizando agua regenerada como fuente de nutrientes en un sistema hidropónico.

2. Objetivos específicos

- Comparar los rendimientos de producción entre soluciones hidropónicas y agua regenerada de tratamiento secundario para proponer un uso alternativo del agua regenerada.
- Emplear el cultivo de lechuga (*L. sativa*) como filtro biológico de nutrientes de aguas regeneradas extrayendo los nutrientes en forma de biomasa y disminuir la afluencia de exceso de nutrientes en cuerpos de aguas cercanas.
- Generar información base sobre la reutilización de las aguas regeneradas en cultivos hidropónicos de lechuga (*L. sativa*).

B. Hipótesis

1. **Nula.** La producción del cultivo de lechuga (*L. sativa*) no tendrá un mejor rendimiento al utilizar agua regenerada como fuente de nutrientes.

2. **Alternativa.** La producción del cultivo de lechuga (*L. sativa*) tendrá un mejor rendimiento al utilizar agua regenerada como fuente de nutrientes en un sistema hidropónico.

III. MARCO TEÓRICO

A. Uso del agua

La cabecera departamental de Sololá cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, con la ayuda del proyecto ALA 88/22 con el apoyo de la Unión Europea, estas plantas fueron construidas en los Barrios San Bartolo y San Antonio. El efluente de cada planta de tratamiento se utiliza en la agricultura, sin ningún tipo de desinfección o tratamiento terciario, que disminuya los patógenos presentes en el agua del efluente de cada planta de tratamiento. La mayoría de las personas que hacen uso de esta agua, lo hacen inadecuadamente, existen reglamentos para el reúso de este tipo de efluente, principalmente no se recomienda utilizarla en los cultivos de tipo bulbos, raíces, tubérculos etc. (Aldana Quiñonez, 2008).

De acuerdo a la actividad urbana y de las fuentes de abastecimiento disponibles ya sean subterráneas o superficiales, en general, el agua se introduce a un sistema de abastecimiento de agua potable que abarca desde obras de captación, proceso de potabilización, tubería de conducción, tanques de almacenamiento y tubería para la red de distribución. En otros casos, el sistema de agua potable es alimentado por medio de un pozo, la forma de extraer el agua es mediante un equipo de bombeo.

Por lo tanto, el agua está lista para ser consumida en los hogares, comercio e industria, para luego ser canalizada mediante un sistema de drenaje por medio de una conexión domiciliar y con ello realizar un tratamiento del agua residual previa a ser descargado al cuerpo receptor (suelo, río, lago, etc.), o por aplicación directa al suelo. Otra forma de saneamiento domiciliar es la conexión directa a una fosa séptica donde es tratado y luego es descargado al cuerpo receptor o al suelo. La mayor parte de la población de Sololá no tiene conexión a drenaje, de igual manera no existe un tratamiento adecuado del agua residual (de Vargas, 2004).

B. Aspectos biológicos del agua

Las aguas superficiales están expuestas a diversos factores que pueden alterar su calidad biológica y ocasionar cambios simples o complejos a diferentes niveles de intensidad. Esta alteración se puede dar en eventos naturales o en actividades antropogénicas, como el uso doméstico, la industria, minería y agricultura, etc.

La contaminación fecal de las fuentes de aguas, para consumo humano es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo. En las grandes ciudades esta contaminación se debe principalmente al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento. La contaminación fecal se origina en

las zonas de arrastre provenientes de los corrales principalmente de bovinos de engorde y las avícolas (de Vargas, 2004).

El vertimiento o infiltración de aguas residuales sin tratar, aportan lixiviados contaminantes de los rellenos sanitarios, efluentes de aguas residuales con tratamiento deficiente, las infiltraciones de tanques sépticos, etc. Asimismo, la escorrentía pluvial y las inundaciones ocasionan el deterioro de la calidad del agua de los recursos hídricos. En las zonas rurales, la contaminación fecal se origina por la defecación a campo abierto además de la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos (de Vargas, 2004).

El uso de aguas superficiales como fuente de agua implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas. Los agentes patógenos involucrados con la transmisión por esta vía son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta serios, en ocasiones fatales cuadros de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden transmitirse a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos y de los animales al hombre, entre otras (de Vargas, 2004).

Los agentes patógenos y los organismos productores de toxinas que pueden estar presentes en aguas superficiales y cuya transmisión hídrica está demostrada, pertenecen a los siguientes grupos:

1. **Bacterias.** *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*.
2. **Virus.** *Enterovirus*, *Rotavirus*, *Adenovirus*.
3. **Protozoos.** *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium coli*.
4. **Helmintos.** *Ascaris*, *Trichuris*, *Taenia*.
5. **Cianobacterias.** *Anabaena*, *Microcystis*.

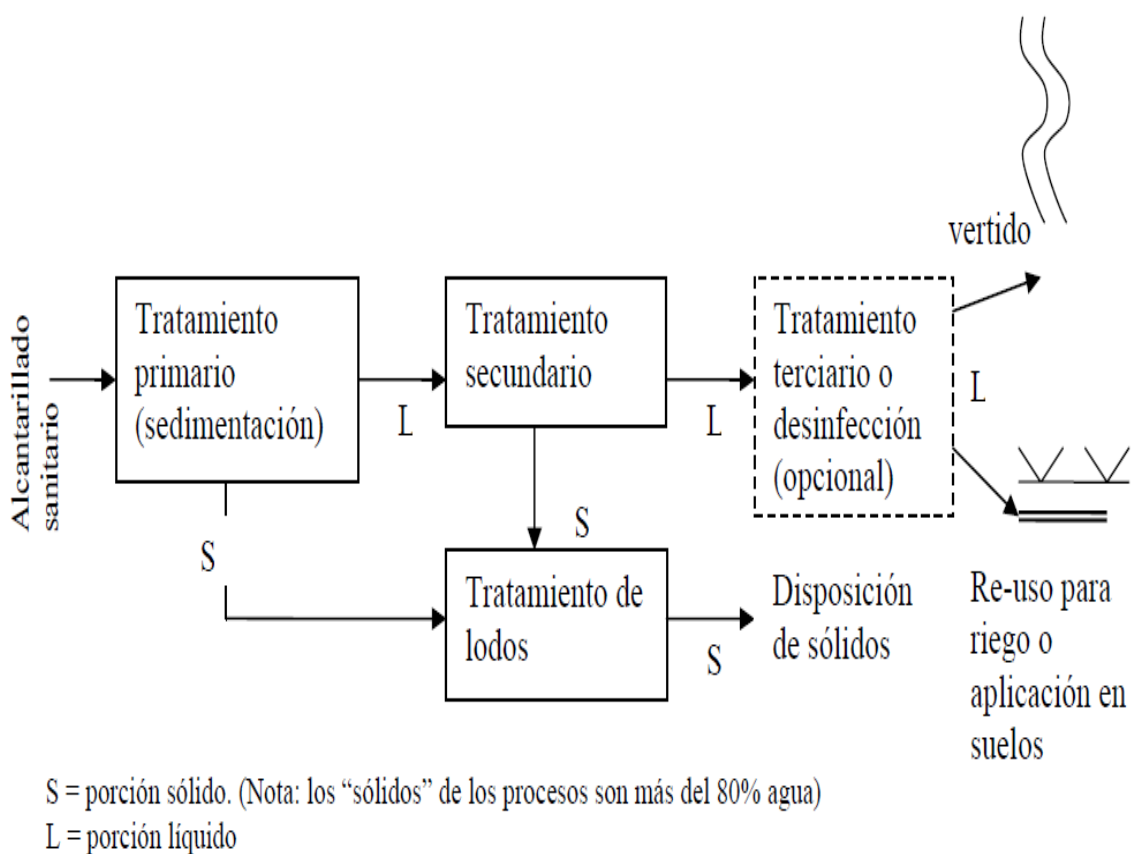
C. Aguas residuales

Son todas aquellas aguas que provienen de las actividades diarias utilizadas que tienen influencia antropogénica como en el uso doméstico, industrial, comercial y otros servicios que requieren del recurso hídrico. Podemos clasificar las aguas residuales en municipales e industriales. Las aguas residuales municipales son residuos líquidos que son transportados por el alcantarillado de una población y tratados en una planta de tratamiento municipal. Las aguas residuales industriales provienen de las descargas de industrias que modifican las propiedades del agua. Las aguas residuales industriales necesitan de un

tratamiento previo a de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal (Gobierno de Navarra, 2014).

Los procesos para el manejo de aguas residuales deben minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente, se debe considerar las particularidades de cada sitio. Para el procesamiento de aguas residuales se debe tomar en cuenta, las leyes nacionales, las metas para la protección de la salud y medio ambiente. El nivel de tratamiento final dependerá de la aplicación del agua regenerada, antes de verterlos a un cuerpo de agua, si el agua se reutiliza para el riego de cultivos se recomienda no remover nutrientes, porque son ricos en nitrógeno y fósforo (PROARCA, 2004).

Figura 1. Componentes básicos para tratar aguas residuales



Fuente: PROARCA 2004.

Cuadro 1. Fases que debería de tener el tratamiento de aguas residuales

Clasificación	Descripción
Pre-tratamiento	Esta unidad tiene como finalidad eliminar materiales voluminosos, que pueden perjudicar el sistema de conducción en la planta. Los componentes utilizados son rejas y desarenador.
Tratamiento primario	Se remueven los sólidos suspendidos con la ayuda de sedimentación, filtración flotación y precipitación.
Tratamiento secundario	Se remueve el material orgánico en suspensión, utilizando procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación ayudan a disminuir la materia orgánica. Estos organismos están en función de procesos aeróbicos (presencia de oxígeno) y anaeróbicos (ausencia de oxígeno).
Tratamiento Terciario	Es el grado de tratamiento idóneo para alcanzar una calidad físico-química y biológica adecuada para los cuerpos de agua receptores o reúso. En este tratamiento se remueven los nutrientes del agua, porque son responsables en estimular el crecimiento desmedido de plantas acuáticas y algas.
Desinfección	Tratamiento adicional cuya finalidad es remover patógenos (microorganismos).
Tratamiento de lodos	Remueve la parte sólida que suele ser el 20% del agua. En este proceso se secan en patios con una combinación de tiempo y temperatura se eliminan los patógenos.

Fuente: PROARCA, 2004.

1. Pre-tratamiento

a. Canal de rejas. El objetivo es remover los materiales gruesos, que podrían perjudicar el flujo del agua en el sistema de conducción de la planta. Se compone de barras metálicas separadas entre sí, en claros de 1.0 a 50 cm, colocados en un ángulo de 30 a 60°. Los sólidos obtenidos de este sistema son enterrados o incinerados (Soledad, 2009).

b. Desarenador. Sistema utilizado para extraer arena, pero este va integrado dentro de las aguas residuales, es de forma rectangular y de flujo horizontal. Los sólidos inorgánicos que son atrapados son cenizas, arenas, grava, etc. Dependerá de los factores geológicos o si la red de alcantarillado es solo sanitaria o combinada (combinada contiene más arena y grava). Las arenas causan dificultades en el funcionamiento de los tanques de sedimentación y en la digestión de materia orgánica, cuando se acumulan alrededor de las tuberías de entrada causan obstrucciones. El desarenador es una caja o canal en donde las partículas se separan con la ayuda de la gravedad (Consolider-tragua, 2010).

c. Trampas de grasa. La grasa causa problemas tanto en el sistema de alcantarillado como en tratamientos anteriores si se acumula. Lo ideal es colocarlos a nivel individual tanto como para el sistema de alcantarillado y en la entrada de la planta de tratamiento. Lo recomendable es que cada sistema de descargas tuviera su trampa de grasas como, la lavandería, lavaplatos, cocinas, hoteles, restaurantes, hospitales etc (Consolider-tragua, 2010).

d. Medición de caudal. Para un mejor control de un sistema de tratamiento, es necesario conocer el caudal (la cantidad de agua que ingresa por día) que ingresa a la planta. Actualmente existen muchas formas utilizadas para medir caudales entre ellos:

- Equipo eléctrico que funciona con sensores, registrando automáticamente la variación constante del caudal.
- Vertederos en canales; como el vertedero Sutro, el canal Palmer Bowlus o el Parshall. Estos sistemas no requieren de energía para su funcionamiento, solamente de una lectura periódica que realice el operador del sistema. En el canal Parshall es necesario supervisar la instalación, si no se tiene una instalación correcta pueden resultar incorrectos o malos (Consolider-tragua, 2010).

e. Bombeo. Lo más idóneo es evitar el bombeo dentro de una planta, porque se puede aprovechar la topografía en algunos casos. Sin embargo no todos los lugares tienen un topografía que ayude al ahorro del bombeo; cuando sea necesario se eleva el agua de la entrada de la planta (idealmente después de las rejas y el desarenador para proteger el equipo de bombeo) o la salida de la planta en la descarga final (Consolider-tragua, 2010).

2. Tratamiento primario

a. Tanque séptico. Combinan los procesos de sedimentación y digestión anaerobia de la materia orgánica; normalmente los tanques se diseñan con dos o más cámaras que funcionan en serie. En la primera fase se realiza la sedimentación, biodigestión y almacenamiento de lodos. Con la degradación anaerobia se producen gases, que suspenden sólidos sedimentables en la primera cámara, esto requiere de una segunda cámara para removerlos de una mejor manera, de esa forma se evita que estos sean arrastrados en el efluente del tanque. En efluente mencionado se encuentran condiciones sépticas (anaerobias, sin oxígeno) y esto aún lleva una cantidad de materia orgánica disuelta y suspendida, por lo cual es necesario otro tratamiento (Rivera, 2011).

b. Tanques Imhoff. En esta etapa se aísla la sedimentación en dos niveles, utilizando un estanque de sedimentación y cámara de digestión. El tanque Imhof es una unidad compacta, el estanque de sedimentación está ubicado sobre una cámara de digestión. El material sedimentado se desvía por paredes internas inclinadas para que estos puedan deslizarse directamente a la digestión. El dispositivo de retención en la superficie de deslizamiento, impide que el gas ascienda y altere el proceso de sedimentación. Estos tanques se construyen en secciones transversales circulares o cuadrados, estas ofrecen tratamiento para al menos 5,000 habitantes, por su diseño no requieren de personal altamente capacitado porque no cuenta con partes mecánicas (Rivera, 2011).

c. Sedimentadores primarios (primario o primario avanzado). En comparación al tanque séptico y los tanques Imhoff, en estas unidades no almacenan los lodos, estos se extraen continuamente y necesitan de un tratamiento adicional. Estas estructuras pueden ser circulares y/o rectangulares tienen como función la reducción de sólidos suspendidos, grasas y aceites en las aguas residuales. Ofrecen hasta un 55% de remoción de los sólidos, se pueden utilizar coagulantes (químicos que agrupan por atracción las partículas finas para hacerlas más pesadas), entre ellas, sulfato de aluminio, cloruro férrico o sulfato férrico, para aumentar la eficiencia de este sistema, considerado tratamiento primario avanzado (PROARCA, 2004).

d. Reactor anaerobio de flujo ascendente o RAFA (primario avanzado). Este es un reactor con flujo ascendente en la parte superior cuenta con sistema de separación de gas-líquido-sólido, esto evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente, favoreciendo la evacuación de gas. Son unidades cerradas que facilita la recolección de gas que se genera con el proceso anaerobio. Las desventajas con este sistema es: La lentitud del proceso de arranque del reactor, se necesita homogenizar el caudal, se debe corregir el pH y requiere de mayor cuidado para su correcto funcionamiento (PROARCA, 2004).

3. Tratamiento secundario

a. Filtro anaerobio de flujo ascendente, o FAFA (Secundario). Reactor de flujo ascendente en donde el material filtrante son soportes plásticos o rocas de 3 a 5 cm de diámetro en promedio. El agua pre-tratada ingresa en la parte inferior de las unidades y sube a través del material filtrante, el medio filtrante aloja bacterias que con el paso del agua la materia orgánica disuelta es removida. En este proceso también se producen gases. Se debe tener una distribución homogénea del material filtrante, porque puede provocar una acumulación lenta pero constante de biomasa, que con el tiempo crea problemas de taponamiento (Parra, 2006).

b. Filtros percoladores (primario avanzado o secundario). Este puede ser un tanque rectangular o redondo, relleno con un medio filtrante (rocas u otros materiales); en donde el agua es distribuida sobre el medio y esta baja por gravedad a través de él. Se debe formar una sustancia viscosa y gelatinosa, este contiene las bacterias y otros microorganismos que degradaran la materia orgánica. Este es un sistema aerobio, que necesita introducir aire por aberturas ubicadas en la parte inferior de la estructura para que el aire suba y pase en el material filtrante. El efluente después de este tratamiento debería pasar por un clarificador secundario para recolectar biomasa desprendida (Cardoso Vigueros & Ramírez González, 2008). Existen dos tipos de este filtro utilizados en Centroamérica:

1) Bajo volumen de piedra. En este no hay recirculación del agua y se ubica en un terreno con pendiente, estas plantas funcionan netamente con gravedad aprovechando la pendiente que ofrecen los lugares (no requiere bombeo).

2) Alto volumen, de grava o plástico. Con recirculación (de una a cuatro veces el caudal de entrada) su ventaja es porque ocupa menos espacio físico, su nivel de tratamiento es más alto, es más flexible en cuanto a operación y tiene menos tendencia a invasión de moscas. La desventaja principal es que requiere bombeo (costos de electricidad).

c. Lagunas de estabilización (primario, secundario y terciario). Se le conoce con este término a cualquier estanque o laguna cuya función sea para tratamiento primario, secundario, remoción de patógenos e incluso nutrientes (tratamiento terciario). Hay una variedad de lagunas, pero de acuerdo a sus características pueden ser:

1) **Lagunas anaerobias.** Esta es la primera fase de la depuración o pre-tratamiento, puede considerarse como digestor, por la cantidad de volumen de materia orgánica que ingresa mantiene un ambiente anaerobio. La desventaja es la generación de malos olores eventualmente, debido a la variación de temperaturas que puede haber. Deben instalarse a 500 m lejos de zonas habitadas. Estas lagunas tienen de 3 a 5 m de profundidad. Si el afluente es alto en sulfatos, los olores son fuertes y se recomienda evitar el tratamiento de aguas domésticas (Yáñez, 2007).

2) **Lagunas facultativas.** Esta es la combinación de áreas en el mismo estanque creando ambientes aeróbicos y anaeróbicos, tienen profundidades de 1.5 a 2 m y una cantidad de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen que permita el crecimiento de organismos aeróbicos y facultativos (estos últimos pueden reproducirse en medios aeróbicos y anaeróbicos). Es la laguna más usada para el tratamiento de agua porque requiere menos espacio que las aerobias y no producen olores de las anaerobias. Como en todos estos procesos la temperatura afecta la eficiencia del sistema (Lambarri, 1993).

3) **Lagunas aerobias.** Estas lagunas operan con aire, son de poca profundidad, no mayores de 80 cm lo que favorece al crecimiento de algas, que suministran oxígeno necesario al sistema. Estas no pueden ser utilizadas para aguas residuales crudas, necesitan de un pre-tratamiento, con estas lagunas se logran eficiencias del 65 hasta 75%. La desventaja principal es que requiere de extensiones grandes para establecerlas, estas lagunas pueden ser cubiertas por plantas acuáticas, que proporcionan oxígeno al sistema. Con las plantas acuáticas se debe implementar un programa de cosecha de las plantas (recolección, tratamiento y disposición) o las mismas causaran problemas de sobrepoblación en el sistema (Yáñez, 2007).

4) **Lagunas de maduración.** Podría decirse que es la etapa final de las lagunas, debido a que los efluentes son procesados aquí con la finalidad de reducir coliformes fecales, huevos de helmitos y quistes de protozoarios. En estas la acción del sol y sus rayos UV son fundamentales (Yáñez, 2007).

d. Humedales o biofiltros (secundario y terciario). Su sistema se basa en la adaptación de las lagunas, al utilizar plantas acuáticas en vez de algas para proveer oxígeno a las bacterias. Para evitar que estos humedales sean hospederos de mosquitos, se colocan rocas dentro del tanque al mantener el agua a 10 cm bajo la superficie de las piedras. Se debe cosechar periódicamente las plantas, en otras palabras, requiere de mucho más mantenimiento que las otras lagunas (Neiff, 2000). Lo idóneo, es que las plantas sembradas en los humedales tengan un uso comercial, como alimento para animales, por ejemplo. Este sistema ofrece ventajas como generar menos olores, el área a utilizar es menor que las lagunas, no hay algas en el efluente y se remueven una parte de nutrientes.

e. Lodos activados. Este es el más utilizado en plantas de tratamiento grandes. Este proceso requiere grandes cantidades de energía y un alto nivel de control, para una correcta operación. Cuando se trabaja con una masa activada (viva), formada por microorganismos, que son capaces de estabilizar la materia orgánica en procesos aerobios. Consiste en introducir el residuo orgánico en un reactor donde se mantiene el cultivo bacteriano aerobio en suspensión, el ambiente en el reactor se consigue mediante la inyección de aire, gracias a difusores o aireadores mecánicos que ayudan a mantener la mezcla líquida en estado homogéneo en todo el tanque.

Luego del reactor aerobio pasa a un sedimentador secundario, en donde se remueven sólidos y bacterias. Una parte de las células sedimentadas se mantienen en recirculación con el fin de mantener en el reactor la concentración de células deseadas, en la última fase es expulsado del sistema, terminando en el tratado de lodos de la misma planta (Mara, 1990).

4. **Tratamiento terciario.** Este es el grado de tratamiento que es perseguido para obtener alta calidad físico-química y biológica. Son procesos por los cuales se le dan ajustes al agua para mejorar su calidad. Las metas del agua serán de acuerdo al reúso deseado. Normalmente el tratamiento terciario es para remover nutrientes (N, P) del agua, se pueden utilizar plantas acuáticas (Humedales). A nivel general no se le hacen tratamientos terciarios a las aguas residuales, a menos que el reúso de estas tenga una aplicación en la industria y en algunos casos para la protección de un área ecológicamente sensitiva (Mara, 1990).

5. **Desinfección.** Las aguas regeneradas o tratadas que son utilizadas como fuentes de abastecimiento público o para propósitos recreativos, requieren de un tratamiento adicional para eliminar los patógenos que en ellas están presentes sin duda. Esto se hace con el propósito, de reducir riesgos para la salud debido a la contaminación de estas aguas (Charles & Gordon, 2008). Existen métodos de desinfección entre las cuales podemos mencionar dos grupos:

- Físicos: Rayos ultravioletas, ebullición y filtración
- Químicos: Aplicaciones de bromo, cloro, ozono, etc.

Las formas que comúnmente se utilizan para la desinfección de estas aguas son, mediante las lagunas de maduración (tiempo, más rayos ultravioleta del sol) y la aplicación del cloro (BIOAGUA Tratamiento de Aguas, 2013).

6. **Tratamiento de lodos.** Se obtienen de los procesos de pre-tratamiento, tratamientos primario y secundario, son compuestos del 80 hasta el 99% de agua, por su peso. Los lodos son una masa acuosa, con materia que aún es posible seguir degradando, en donde se concentran patógenos (microorganismos), siendo necesario un tratamiento adicional para lograr estabilizarlos. El objetivo de esta etapa es reducir patógenos, remover el agua del material y eliminar la posibilidad de olores desagradables. El tratamiento de lodos básicamente consiste en aplicar químicos o una combinación de tiempo con temperatura que asegure la remoción de patógenos y transformación de componentes orgánicos que aun presentes despliegan olores (Cardoso Vigueros & Ramírez Gonzáles, 2008).

Los tanques Imhoff y los RAFA incluyen en el diseño anaerobio de lodos estabilizados. Una vez tratados, se utiliza un proceso adicional para eliminar el agua excesiva que contienen lodos, esto con el fin de reúso o disposición final. Esta sección consta de cuatro opciones para el tratamiento de lodos:

a. **Digestión anaerobia.** Es un proceso donde la materia en fase de descomposición está ausente del oxígeno molecular y libera gas metano. El lodo se calienta por medio de un intercambiador de calor externo, el metano producido puede ser utilizado como combustible o también pueden ser tratados con cal.

Este método se utiliza cuando el volumen de los lodos, es poco al igual, que el espacio para el secado, además de su esterilización con alteración del pH, aplicando cal. Se eleva el pH de los lodos de 12 a 30 minutos.

b. **Compostaje con residuos orgánicos.** Se mezclan los lodos con basura orgánica obteniendo un proceso de compostaje, esta necesita de una acción exotérmica (70°C) de bacterias que pasteurizan los lodos, liberándolos de los agentes patógenos.

c. **Patio de secado (lechos de secado).** Esta es la manera más común para el tratamiento de lodos, se coloca el lodo en una plataforma de ladrillo que tiene como función de filtrar el residuo líquido de los lodos. En el fondo de este sistema se coloca un drenaje, que colecta los fluidos y los conduce a un punto de descarga. Con la ayuda de la radiación solar, se deshidratan los lodos hasta quedar en forma sólida. Dependiendo del clima (temperatura solar, razón de evaporación, intensidad de lluvia, humedad de los suelos, etc.) donde este se ubique, el sistema de tratamiento, tardara aproximadamente entre 1 a 6 semanas para que los lodos puedan secarse (Cardoso Vigueros & Ramírez Gonzáles, 2008).

D. Agua regenerada

Son aguas que han pasado por todo el proceso de una planta de tratamiento, el agua debe tener la calidad establecida por la normativa de vertidos de determinado lugar. Este es simplemente el efluente final

de una la planta de tratamiento. En los últimos años el agua regenerada ha sido utilizada por agricultores, no sólo como recurso hídrico, sino además como fuente de nutrientes-fertilizantes que contiene, estos favorecen el crecimiento de las plantas y mejoran las propiedades de los suelos. La regeneración de las aguas residuales y su reutilización en la agricultura está siendo utilizada cada vez más en diferentes partes del mundo. En países extranjeros la reutilización de aguas regeneradas se ha hecho muy común en los últimos años, el incremento de depuradoras de aguas residuales y a la gran demanda de agua existente, esto con el fin reducir el deterioro de la calidad de aguas superficiales y subterráneas. La reutilización se ha convertido en una fuente alternativa de recursos en las épocas de sequía (De Bustamante, La Reutilización de Aguas Regeneradas en España, 2010). En el reuso del agua regenerada encontramos ventajas y desventajas:

1. Ventajas

- La reducción de nutrientes a los cuerpos de agua.
- Fuente de agua para riego agrícola, jardinería y forestal.
- Disponibilidad del recurso durante todo el año.
- Aprovechamiento de nutrientes contenidos en el agua mediante su uso en el riego.
- Fuente de nutrientes para las plantas.

2. Desventajas

- Riesgos de aportación adicional de nutrientes, estos pueden sobrepasar las necesidades de las plantas provocando crecimientos excesivos, maduración tardía o desigual de los frutos. Es importante analizar el agua para determinar la cantidad de nutrientes contenidas en él.
- Presencia de sales, algunas plantas pueden ser dañadas al usar de aguas salinas.
- Presencia de microorganismos patógenos que son dañinas a la salud del público. Siendo necesaria una desinfección antes de hacer uso de ella.

3. Usos actuales del agua regenerada

- Riegos Agrícolas.
- Usos lúdicos (riego de áreas verdes).
- Recarga de acuíferos.
- Usos urbanos.
- Usos industriales.

El agua regenerada se utiliza principalmente en el riego de campos (áreas verdes) y jardines, pero sin duda uno de los mejores usos que se ha encontrado es el riego agrícola. Los principales demandantes de

agua en cuanto a calidad y cantidad es el sector agrícola, aproximadamente con un 68% de los recursos hídricos. Los métodos empleados en el riego son varios, pero dependerá de distintos factores para poder utilizarla (De Bustamante, La Reutilización de Aguas Regeneradas en España, 2010).

4. Factores que intervienen en el uso del agua regenerada para riego

- La forma de la parcela y la topografía del terreno.
- La capacidad del suelo para almacenar el agua.
- Tipo de cultivo, conocer los requerimientos de agua para un riego adecuado, así como su comportamiento en situaciones sequias.
- Agua disponible y el precio de la misma.
- La calidad del agua para riego.
- El impacto al medio ambiente.
- La mano de obra disponible.
- El costo de las instalaciones de cada sistema de riego, tanto en la inversión inicial como en la ejecución, riesgos y mantenimiento del sistema (Prats, 2001).

5. **Riesgo sanitario.** La reutilización de agua residual regenerada comparte un riesgo sanitario, como se mencionó anteriormente, tanto para el público como para los trabajadores del sistema, la exposición ante microorganismos patógenos y sustancias tóxicas es elevada. Lo que se pretende es una mínima exposición a estos agentes, manteniendo así los posibles peligros sanitarios dentro de un nivel aceptable, la preocupación sanitaria en estas actividades lo causan:

- El grado de contacto del agua residual regenerada con las personas.
- La calidad del agua residual regenerada.
- La desconfianza del proceso de tratamiento.

6. **Nutrientes presentes en el agua regenerada.** El agua regenerada contiene nutrientes que ayudan al desarrollo de las plantas en la agricultura. Micro elementos son todos aquellos químicos presentes en el agua en concentraciones inferiores a unos cuantos mg/l (normalmente hasta $\mu\text{g/l}$).

Los elementos nutritivos aportan fertilizantes a las plantas. Si el aporte adicional de nutrientes sobrepasa las necesidades de la planta puede causar problemas con el crecimiento, puede ser excesivo, maduración desigual o tardía de los frutos, o incluso una calidad inferior de estos (De Bustamante, La Reutilización de Aguas Regeneradas en España, 2010).

7. **Nitrógeno.** En el agua residual así como las formas en que este se encuentre¹, dependen del tipo y grado de tratamiento que el agua ha sufrido o el agua residual tratada contiene nitrógeno en formas amoniacales y orgánicas. El exceso de nitrógeno, puede llegar a ser perjudicial para los cultivos, aumentando la lixiviación de nitrato y la contaminación de aguas subterráneas (Del Pino, 2008).

8. **Fósforo.** Es uno de los elementos principales para las plantas. El fósforo se acumula paulatinamente en el suelo disminuyendo la necesidad hacer aplicaciones complementarias de este nutriente en años posteriores. Hasta ahora el exceso de fósforo en el suelo no ha representado ningún problema y no se ha establecido ninguna norma para evaluar su concentración. De igual forma debe analizarse el agua y el suelo para generar un plan en la aplicación de este nutriente (Del Pino, 2008).

Las situaciones donde puede existir la posibilidad de riesgo es el contacto con agentes peligrosos para la salud, no únicamente las situaciones de ingestión de agua residual regenerada o de contacto con la piel y mucosas. Se debe tener en cuenta que los sistemas de reutilización pueden afectar factores ambientales entre los cuales podemos mencionar el aire, aguas subterráneas y el suelo (Del Pino, 2008).

E. Reglamentos para reutilización

1. **Acuerdo 12-2011 descarga de aguas residuales en la cuenca Atitlán.** Esta es una modificación del acuerdo Gubernativo 236-2006 siendo específicamente para la cuenca del Lago Atitlán, estableciéndose como acuerdo 12-2011 donde su principal objetivo es fijar los parámetros y límites máximos permisibles, para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores para la cuenca del lago Atitlán de forma directa o indirecta, con el fin de rescatar, proteger y prevenir la contaminación del recurso hídrico. Aplica a toda entidad o persona individual que administre aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, dentro de la cuenca del lago Atitlán.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del lago Atitlán, están sujetos a monitoreos periódicos de las descargas que realizan, principalmente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2011).

Los principales parámetros a medir para determinar las características de las aguas residuales son:

- Temperatura (°C).
- Potencial de hidrogeno (pH).
- Grasas y aceites.
- Materia flotante.
- Solidos suspendidos totales.

¹ nitrógeno amoniacal, nitratos y/o nitrógeno orgánico

- Nitrógeno total.
- Fósforo total.
- Color aparente.
- Coliformes fecales.
- Demanda bioquímica de oxígeno.
- Demanda química de oxígeno.

El Cuadro 2 presenta los parámetros que debería de tener el agua regenerada para descarga en ríos, riachuelos, quebradas o zanjones de la cuenca del lago Atitlán.

Cuadro 2. Valores máximos permisibles para la cuenca Atitlán

Parámetros	Dimensionales	Límite máximo permisible Acuerdo 236-2006	Límite máximo permisible Acuerdo 12-2011
Temperatura	°C	TRC +/-7° *	TRC +/-7° *
Materia Flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Mg/l	75	50
Demanda Química de Oxígeno	Mg/l	150	100
Solidos suspendidos	Mg/l	100	60
Nitrógeno total	Mg/l	25	10
Fósforo total	Mg/l	15	5
Potencial de hidrogeno	pH	6-9	6-9
Coliformes Fecales	Unidades platino Cobalto	500	300
Coliformes Fecales	Número más probable en 100 ml	<1X10 ⁴	<1X10 ⁴

*Temperatura del cuerpo receptor en grados Centígrados

Fuente: MARN 2011.

2. Acuerdo COGUANOR-29001. Establece los valores para la verificación de calidad microbiológica del agua, no deben ser detectables en 100 ml para coliformes totales y *E. coli* en las aguas para consumo directo y agua regenerada que entran a un sistema de distribución (COGUANOR, 2010).

Hay que tomar en cuenta que el agua aún después de ser tratada puede contener microorganismos y agentes químicos. Muchos de estos patógenos pueden ser transferidos al ser humano de forma directa

(contacto con la piel o ingestión) indirectamente (con objetos o herramientas contaminadas previamente). Hay que tener en cuenta que el agua regenerada es rica en nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo y potasio que son primordiales para el desarrollo vegetal. (García Soto, 2008).

El agua regenerada puede ser utilizada para el riego en la agricultura siempre y cuando se evite el contacto directo del agua con las partes comestibles (EPA 2004).

Dentro de las normas COGUANOR no se establecen valores máximos permisibles para alimentos, por lo tanto, se consultaron las normas de la Food and Drug Administration y de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), quienes establecen que el máximo permisible de microorganismos en productos vegetales y hortalizas deben ser de: 0-10 UFC/g para *E. coli* y Coliformes totales (Díaz, 2005).

F. Hidroponía

Es un sistema de producción ajena al tradicional suelo, en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, son utilizados como sustrato cualquier material inerte que retenga humedad y aireación de las raíces, o simplemente la misma solución en las cuales se disuelven los nutrientes (Rodríguez, 2004).

1. Ventajas

- Promueve el balance de aire, agua y nutrientes: Es posible mantener tanto el aire como el agua dentro del rango requerido por los cultivos. Los nutrientes se proporcionan al cultivo hidropónico junto con el agua lista para ser asimilados en forma de solución balanceada. Las inconsistencias en la fertilización y las pérdidas de fertilizantes desaparecen con un cultivo hidropónico.
- Se requiere de poco espacio para implementar una huerta, pueden realizarse en paredes, techos, patios, ventanas, terrazas, etc.
- Permite una humedad homogénea: En un sistema hidropónico la humedad del sustrato puede ser siempre uniforme y controlada.
- Permite un excelente drenaje: Esta característica, sumada a que los materiales usados como sustrato generalmente no se desintegran o parten fácilmente, da como resultado una buena aireación para las raíces.
- Permite una mayor densidad de población: porque los nutrientes son limitantes, las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse más cerca (entre un 10 hasta 30%) en comparación al suelo.

- Permite obtener productos de calidad: El control eficiente sobre nutrición, aireación, etc., permite que los productos del sistema hidropónico sean más uniformes en tamaño, peso, color, etc., y además de alta calidad en el comercio, que los productos del tradicional suelo.
- Precocidad: Se pueden lograr en los cultivos hidropónicos aceleración de madurez fisiológicas, se ha encontrado que aun a campo abierto estos maduran de 10 a 60 días antes que en comparación al suelo (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2002).

2. **Sustratos.** Son materiales que brindan a la raíz suficiente aireación, disponibilidad de agua y sanidad, así como facilitar la acción y efecto de la solución nutritiva, porque los sustratos deben ser químicamente inertes. Existe una gran cantidad de sustratos que se pueden utilizar en hidroponía y entre los más utilizados están los siguientes: Arena, grava, tezontle, ladrillo quebrado y/o molido, agrolita, vermiculita, turba vegetal (Peat Moss), aserrín, resinas sintéticas (poliuretano) y cascarilla de arroz, entre otros. Estos materiales se pueden utilizar en forma individual o mezclas de dos o más de ellos, de acuerdo a su compatibilidad y disponibilidad (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2002).

Las características que se deben considerar en los sustratos son: Buena retención de la humedad, buen drenaje, que no tengan una alta retención de humedad en la superficie, que no se degraden con facilidad, que no tengan nutrientes, que sean de bajo costo, tamaño adecuado de partículas que deben estar dentro del rango de 2 y 7 mm (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2002).

a. **Arena.** Es un sustrato que varía en tamaño, forma, composición y color. El diámetro de las partículas de arena recomendables es de 2 a 7 mm. Las arenas que se pueden utilizar en este sistema son las de río (lavado) y las de tezontle.

b. **Ladrillo molido.** Este debe estar molido apropiadamente, se utiliza solamente cuando está libre de mortero y pobre en cal. Es recomendable obtenerlo de las fábricas de ladrillo y molerlo hasta el tamaño deseado que no debe exceder de 4 mm.

c. **Tezontle.** Es material triturado de origen volcánico específicamente de las rocas ígneas, que se forman del magma expulsado por las erupciones volcánicas y son de color rojo o negro, de estructura vesicular.

d. **Aserrín.** Substrato que se obtiene del procesamiento de la madera, es muy abundante y de bajo costo. Tiene buena capacidad de retención de humedad, buenos espacios porosos que se pueden hacer variar de acuerdo al tamaño de sus partículas o haciendo una mezcla con viruta. Para su uso en hidroponía se podría hacer una mezcla de aserrín moderadamente fino, mezclado con una buena porción de viruta plana, pues el movimiento de la humedad es mejor que con un aserrín grueso. Antes de utilizar este sustrato debe realizarse un proceso de compostaje (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2002).

e. **Sustrato o medio de cultivo líquido.** El medio de cultivo más común, utilizado y fácil de conseguir, es el agua que se usa con el mismo fin que el sustrato sólido; nos permite el desarrollo de las raíces, la absorción de agua y de las sustancias nutritivas adicionadas, pero en un ambiente totalmente líquido. Actualmente se recomienda este método para las plantas parcialmente de hoja abierta, que no forman cabeza como albahaca, apio, berro, endivia, lechuga, etc.

3. **Nutrientes en hidroponía.** Los nutrientes que son necesarios para el desarrollo de las plantas son disueltos en agua, los elementos que son necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas son: Nitrógeno, fósforo, potasio (macronutrientes), carbono, hidrogeno, oxígeno, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro y níquel (micronutrientes). En el sistema hidropónico los elementos oxígeno, carbono e hidrogeno no están contenidos, todos los demás elementos necesarios para el desarrollo son suministrados a través de la solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas (INCAP, 1997).

Existen muchas fórmulas para el preparado de soluciones de nutrientes que se utilizan en otros países. En Guatemala se han probado con éxito, dos soluciones madres concentradas llamadas solución A y solución B. Estas soluciones pueden ser adquiridas en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), ya preparadas a un bajo costo para las personas interesadas en el tema de la hidroponía. En la solución A encontramos los macronutrientes mientras que en la solución B están los micronutrientes. Los nutrientes que contienen las soluciones hidropónicas del INCAP se detallan a continuación:

a. **Solución A.** Los siguientes nutrientes están contenidos en una solución final de 10 litros.

- 340 g Fosfato mono amónico
- 2,080 g Nitrato de Calcio
- 1,100 g Nitrato de Potasio

b. **Solución B.** Los siguientes elementos están contenidos en una solución final de 4 litros.

- 1,242.000 g Nitrato de Magnesio

- 492.000 g Sulfato de Magnesio
- 2.000 g Sulfato de Manganeso
- 0.480 g Sulfato de Cobre
- 1.200 g Sulfato de Zinc
- 0.020 g Sulfato de Cobalto
- 6.200 g Ácido Bórico
- 0.020 g Molibdato de Amonio
- 16.320 g Citrato de Hierro Amoniacal Verde.

Teniendo las soluciones madres se procede a preparar las soluciones finales que se usaran para el riego de los cultivos, en sustratos solidos se realiza de la siguiente manera:

Cuadro 3. Concentraciones para el preparado de soluciones hidropónicas

Concentración	Cantidad de Agua	Cantidades de	
		Solución A	Solución B
Completa	1 litro	5.00 ml	2.00 ml
Media	1 litro	2.50 ml	1.00 ml
Un cuarto	1 litro	1.25 ml	0.50 ml

Fuente: INCAP 1997.

Se recomienda aplicar la solución media en plantas pequeñas recién germinadas o recién trasplantadas, también se emplea esta solución durante las épocas más cálidas.

Para las plantas de mayor edad es recomendable aplicar la concentración completa, también se recomienda aplicar esta solución en épocas frías y de alta nubosidad, pues en estos momentos la planta consume mayor cantidad de nutrientes, utilizando la concentración de un cuarto en la etapa de semillero, durante los primeros 7 ó 10 días.

G. Cultivo lechuga

1. **Origen.** Es originaria de Asia menor, existen pinturas en las cuales la planta se registra en una tumba de Egipto del año 4,500 a. C. la lechuga de tipo cabeza surgió aproximadamente en el año 1,500 de la era actual, procedente de la especie silvestre *Lactuca scariola L.*, clasificándose como maleza y se encuentra en toda Europa y Rusia. Cultivado en casi todo el mundo en climas fríos aprovechando sus propiedades medicinales y como verdura (Malaca, 2001).

2. **Descripción botánica.** Es una planta herbácea, anual y bianual, a temprana edad contiene un jugo lechoso de látex en sus tejidos, cuya cantidad disminuye con el desarrollo de la planta. Su raíz de absorción se encuentra de 5-25 cm, la raíz principal puede llegar a medir hasta 1.80 m, lo que hace posible que soporte las sequías. Puede llegar a tener hasta 80 cm de altura.

Sus hojas son lisas, sin peciolo (sésiles), ovales, gruesas, arrosetadas, enteras y hojas caulinares son semiaplexicales, alternas, de forma redonda; los bordes son redondos o rizados. Sus colores pueden ser de amarillo hasta morado claro, dependiendo de la variedad. Tallo pequeño sin ramificaciones, las temperaturas altas (>26°) y días largos (>12 h) el tallo puede alargarse hasta 1.20 m de longitud, causando inflorescencias. Las inflorescencias son de 15 a 25 flores de color amarillo (Malaca, 2001).

3. **Usos medicinales.** Utilizado como narcótico y calmante, el consumo de las hojas frescas se utiliza para aliviar el estreñimiento, la debilidad del estómago, la dispepsia y mucosidad de la garganta y del pecho. Las hojas provocan efectos tranquilizantes, refrescantes, fortificantes y estimulantes. Son utilizados para proporcionar sueño reparador y tranquilo, tranquilizan y fortifican nervios; además es utilizado para reducir el nivel de azúcar en la sangre. El látex es utilizado como calmante narcótico. Antes de la floración, las hojas solo sirven para comerlas en ensaladas o como adorno culinario.

4. Información nutricional

Cuadro 4. Información nutricional de la lechuga

Porción de 100 g	
Agua	94 g
Energía	13.0Kcal
Proteína	1.4 g
Grasa	0.02 g
Hierro	0.03 mg
Carbohidratos	2.3 g
Sodio	5.0 mg
Ácido Ascórbico	8.0 mg
Vitamina A	1500 UI
Calcio	
Fósforo	
Fibra	

Fuente: Malaca, 2001.

5. **Clima.** Las semillas germinan a temperaturas de 2 a 3°C, la óptima es de 20 a 25°C en suelo, emergen plantas a los 4 ó 5 días después de la siembra. La planta puede desarrollarse entre 13 a 25°C, siendo la óptima entre los 16 y 22°C. Esta planta bajo condiciones de fotoperiodos largos (>12 h) con altas temperaturas (>16°C) emite su tallo floral, las más sensibles son de tipo escarola que las repolladas (Malaca, 2001).

6. **Suelo y fertilización.** Este cultivo se adapta fácilmente a los tanto arenosos como arcillosos, sin embargo, su desarrollo óptimo se da en suelos franco-arenosos, con buen contenido de materia orgánica y un buen drenaje.

La lechuga es tolerante a la acidez, siendo su pH de 6.8 a 6, aunque se ha encontrado que se desarrolla bien en pH 5.0, es mediantemente tolerante a la salinidad. El rendimiento es afectado por la ausencia de nitrógeno (< 40 unidades), origina plantas pequeñas y amarillentas, poco suculentas, contrariamente las dosis altas (> 180 unidades de nitrógeno), provoca crecimiento excesivo, en las variedades de cabeza se retrasa la formación de la misma, quedando poco vigorosas y livianas (Malaca, 2001).

a. Aplicaciones de fertilizante

- Nitrógeno (N): 60 Kg/Ha⁻¹ al momento del trasplante y otra aplicación de 3 a 4 semanas después.
- Fósforo (P) 120 Kg/Ha⁻¹ de P₂O₅, se hace una aplicación antes de la siembra de 80 Kg/Ha⁻¹ al suelo. La segunda fertilización es de 40 Kg/Ha⁻¹, antes del trasplante, en bandas de 5 cm formando un colchón para la semilla.
- Potasio (K): Por lo regular no se recomienda la aplicación de este nutriente, si se desea aplicar se hace en la primera fertilización incorporándolo con el nitrógeno y fósforo (García Zumel, 2013).

7. **Siembra.** Tradicionalmente se siembra indirectamente (trasplante de pilones), aunque también se hace de forma directa. Si se realiza siembra directa se deben hacer aclareos y las plantas sacadas pueden trasplantarse en otro sitio. Para la siembra directa es recomendable utilizar de 2 a 3 Kg de semilla/Ha. Existen semillas tratadas con un alto grado de germinación en el mercado las cuales rinden hasta 1 Kg/Ha⁻¹.

La siembra indirecta o trasplante, es la más utilizada comercialmente, se recomiendan almácigos de 50 m², distribuidas entre 200 a 300 g de semilla, estas son suficientes plantas para una hectárea. El tiempo que tardan las plantas en almacigo es de 5 a 7 semanas, se trasplantan cuando tienen entre 4 a 6 hojas

verdaderas. En siembras comerciales la lechuga puede tener una población de 66,000 a 72,000 plantas por hectárea.

Densidad de siembra de forma indirecta 300-400 g/Ha almácigos de 2 Kg//Ha y siembra directa con un distanciamiento entre surcos de 92 cm, doble hilera distanciamiento entre plantas 30 cm (García Zumel, 2013).

8. Cosecha. Dependerá de la variedad de lechuga a sembrar, las comerciales tardan aproximadamente entre 90 y 100 días. Las variedades de cabeza se cosechan cuando al menos el 50% ha formado cabeza y el tamaño deseado, deben estar lo más sólido posible. Se recomienda cosechar en horas de la mañana, de esta manera se evita el calor del día, para que el producto no se deshidrate (Orlando, 2003).

9. Plagas y enfermedades

a. Plagas

1) **Trips** (*Frankliniella occidentalis*). Los daños son ocasionados por larvas y adultos que se alimentan del contenido celular vaciándolas. Producen la destrucción del tejido celular, si estos atacan en el periodo de la floración se pueden dar pérdida de frutos, si estas sobreviven los frutos quedan deformados. Las hojas tienen un mal aspecto necroso, lo cual esto provoca que la calidad del producto sea mala.

2) **Minadores** (*Liriomyza trifolii* y *Liriomyza huidobrensis*). Esta plaga realiza picaduras en las primeras hojas de la planta, el daño es causado por las galerías que forman sus lavas, esto disminuye la capacidad fotosintética de la planta, lo cual provoca pérdida de peso y depreciación comercial, los daños son más significativos en las plantas jóvenes, retrasan e incluso comprometen el desarrollo de las plantas.

3) **Mosca blanca** (*Trialeurodes vaporariorum*). Las larvas e insectos adultos se alimentan de la savia, estas secretan el azúcar sobrante de la savia en una forma de melaza, esta ensucia las hojas y los frutos, dando como resultado productos no comerciables. La melaza propicia la aparición de otros hongos, que impiden la fotosíntesis y respiración de la planta. El robo de savia en las plantas modifica los procesos fisiológicos, dando como resultado que la maduración de los frutos sea irregular, este insecto puede transmitir otros virus.

4) **Pulgones** (*Myzus persicae*, *Macrosiphum solani* y *Narsonovia ribisnigri*). Estos se alimentan de la savia, utilizando su estilete para absorber la savia, esto debilita a la planta de forma general, reduciendo el crecimiento y causando un amarillamiento en la planta. La savia que no es aprovechada por

esta plaga sale en forma de melaza, que son aprovechados por hongos se desarrollan en la planta, reduciendo la fotosíntesis y la calidad de los frutos.

b. Enfermedades

1) **Antracnosis** (*Marssonina panattoniana*). Sus lesiones iniciales son del tamaño de una punta de alfiler, estas van aumentando de tamaño hasta formar manchas angulosas circulares, con una coloración rojo oscuro, que pueden llegar a tener un diámetro de hasta 4 cm.

2) **Mildiu veloso** (*Bremia lactucae*). Aparece en el haz de las hojas como manchas de 1 cm de diámetro, mientras que en el envés aparece un micelio veloso; las manchas llegan a unirse unas con otras y se tornan de color pardo. Los ataques son mayores en otoño y primavera que es cuando la humedad es alta.

3) **Esclerotinia** (*Sclerotinia sclerotiorum*). Esta enfermedad se encuentra en forma disuelta, lo cual significa que nuevas tierras no cuentan con esta enfermedad. La infección se desarrolla en los tejidos cercanos al suelo, normalmente en la zona del cuello de la planta, en esta área es donde inicia y permanecen los ataques. La planta presenta el síntoma de marchitamiento lento que es visible en las hojas, esta inicia en las más viejas y continua hasta cubrir toda la planta. En el tallo es visible un micelio algodonoso que se extiende de abajo hacia arriba.

4) **Virus del mosaico de la lechuga (LMV)**. Uno de los principales virus que afectan al cultivo lechuga, esta se transmite por semilla y a través de pulgones. Los síntomas empiezan desde el semillero, presentan moteados y mosaicos verdosos que se van acentuando al crecer las plantas, algunas variedades presentan clorosis foliares totales.

5) **Septoriosis** (*Septoria lactucae*). Provocan numerosas manchas en las hojas reduciendo la calidad de la lechuga, en las variedades de tipo escarola provocan más pérdidas que en las repolladas, porque en las repolladas se eliminan las hojas exteriores para su comercialización, situación que no se puede realizar en el tipo escarola (Orlando, 2003).

c. Fisiopatías

1) **Latencia de la semilla y mala germinación**. Para romper la latencia se recomienda pre-refrigeración en cámara fría (2°C por 48 horas), pre-germinación con agua (48 horas a remojo), pre-germinación en cámara oscura y tratamientos con solución de giberelinas (24 horas).

2) **Tip burn.** Son quemaduras de las puntas de las hojas más jóvenes se manifiesta por la falta de calcio, en los órganos en los que aparece y además por un excesivo calor, salinidad, exceso de nitrógeno y defecto de potasio, desequilibrio de riegos y escasa humedad relativa. Las hojas con las puntas quemadas son susceptibles a pudriciones.

3) **Espigado o subida de la flor.** Los factores influyentes en el desarrollo son: Características genéticas, endurecimiento de la planta en primeros periodos de cultivo, fotoperiodos largos, elevadas temperaturas, sequía en el suelo y exceso de nitrógeno. Esta fisiopatía afecta negativamente a las variedades que necesitan formar cabeza.

4) **Antocianos en las hojas.** En épocas de temperaturas bajas durante el ciclo del cultivo algunas variedades son muy sensibles al enrojecimiento de sus hojas.

5) **Escarchas en primavera.** Pueden dar lugar a daños epidérmicos. Como medida preventiva se colocan coberturas de polietileno sobre las plantas.

6) **Granizo.** Afecta negativamente, tanto por el daño directo como indirecto, porque sobre las heridas pueden desarrollarse patógenos secundarios, afectando considerablemente la apariencia del producto.

7) **Costilla rosada (pink rib).** Es una fisiopatía en donde la nervadura de la hoja adquiere una coloración rojiza. La sobre madurez de las cabezas y el almacenaje a altas temperaturas incrementan este desorden.

8) **Punteado pardo.** Esta se debe a la exposición al etileno, que produce depresiones oscuras especialmente en la nervadura media de las hojas. Secundariamente, el etileno estimula la producción de compuestos fenólicos que conduce a la síntesis de pigmentos pardos. Bajo condiciones severas, las manchas pueden ser encontradas en el tejido verde de las hojas y en toda la cabeza. Esta fisiopatía hace a la lechuga no comercial. La contaminación por etileno puede originarse por montacargas que trabajan o funcionan con propano, transporte de cargas mixtas, o almacenaje con frutas generadoras de etileno tales como manzanas y peras.

9) **Mancha parda (brown stain).** Manchas deprimidas de color amarillo rojizo principalmente en la nervadura media de las hojas, es causada por la exposición a atmósferas con CO₂ sobre 3%, combinado con temperaturas bajas. (InfoAgro, 2014).

10. Variedades de lechuga utilizadas en Guatemala

a. Sakata

1) Luana. Planta crespa, perfecta para el mercado fresco, cabeza grande y compacta, adaptación a zonas intermedias y frías, una buena alternativa para zonas de baja temperatura.

2) Isabela. Coloración verde brillante, resistencia a floración precoz, resistente a la deficiencia de calcio, versatilidad en campo abierto e hidroponía, hojas altamente crespas.

3) Verónica. Planta crespa de porte grande, con coloración verde claro, calidad visual para mercado fresco.

4) Scarlet. Planta crespa de coloración morada, calidad visual para mercado resistente a *Rhizoctonia spp* (SAKATA, 2013).

b. Rijz Zwaan

1) Invicta rz. Variedad tipo escarola, verde amarillo de hojas entrelazadas de fino rizado. Permite obtener peso y volúmenes grandes, resistente a podredumbres. Resistente al espigado, permitiendo un periodo de cosecha más amplio manteniendo la calidad.

2) Starfighter rz. Tipo escarola abierta, de gran vigor y rendimiento, recomendable para cultivos de invierno y para procesados.

3) Blanes rz. Tipo escarola de color claro oscuro brillante, tolerancia a bordes quemados, planta precoz.

4) Patrona rz. Lechuga tipo escarola, hojas crujientes de tamaño uniforme, adaptable a recolección mecánica, perfecta para procesado (Rijk Zwaan, 2013).

IV. METODOLOGÍA

A. Sitio experimental

El experimento se situó en la Colonia Minerva, Barrio San Bartolo en el municipio de Sololá a 14°46'12.19" N y 91°10' 34.92" O a 2,150 metros sobre el nivel de mar (msnm.)

B. Material experimental

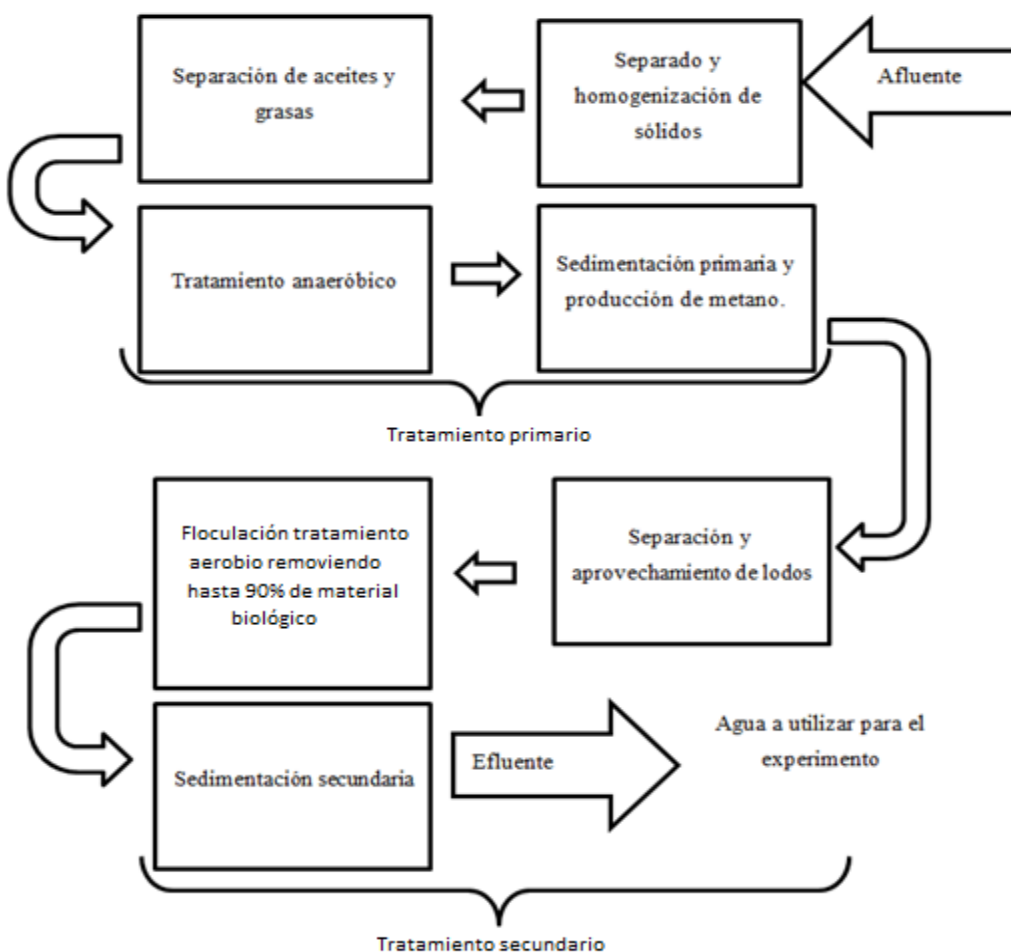
1. **Área.** El área a utilizada fue una extensión de 36 m², con 20% de pendiente.
2. **Protección para época de invierno.** Para la época de lluvia se construyó una galera recubierto con nylon de invernadero para evitar que el agua de lluvia se mezclara con los tratamientos, causando un error experimental.
3. **Contenedores.** Los contenedores utilizados fueron tubos de drenaje de PVC de 4" cortados en segmentos de 1 m de largo, con 4 perforaciones teniendo 20 cm de espacio entre cada orificio, cada orificio tuvo un diámetro de 7.6 cm y para el drenaje se utilizaron tubos tipo manguera con un diámetro de 13 mm (½ pulgada) para expulsar el excedente del riego. (Ver figura 3. croquis del experimento).
4. **Sustrato y desinfección.** Se utilizó 100% roca pómez sin ninguna mezcla, con un tamaño de 5 a 7 mm, para obtener homogeneidad en el sustrato y en los contenedores. Se desinfecto el sustrato con agua caliente para eliminar las impurezas y microorganismos alojados en él, luego se procedió a regar el sustrato 5 días antes del trasplante, con los tratamientos establecidos: PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales), Agua (agua entubada), Agua+AB (agua entubada más solución hidropónica), Agua+PTAR (agua entubada más efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en relación 1:1) y PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas), con el objetivo de lavar, humedecer y fertilizar el sustrato antes de utilizarse.
5. **Fuentes de agua.** Se utilizó el efluente de la planta de tratamiento del Barrio San Antonio que se encuentra en la cabecera de Sololá y agua entubada de la Colonia Minerva de la cabecera de Sololá.

6. Desinfección del agua. Después del análisis microbiológico se concluyó con la aplicación de un tratamiento terciario de desinfección basado en cloro al 5% dosis comercial, utilizando una concentración de 2 gotas por litro, esto se realizó en las dos fuentes de agua utilizadas. Después de la desinfección de cada tratamiento se almacena en un contenedor de 20 litros, seguidamente para la preparación de la mezcla con nutrientes, específicamente en los tratamientos Agua+AB (agua entubada mas solución hidropónica) y PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales). Cada contenedor se preparó semanalmente. (Ver cuadro No. 5 para descripción de tratamientos).

7. Lechuga. Se utilizaron plántulas de lechuga de tipo escarola de la variedad comercial Invicta de Rijk Zwaan, con 30 días de almacigo. Las plántulas de lechuga se trasplantaron de forma manual colocando una planta por postura teniendo un total de 8 plantas por unidad experimental.

Croquis de la planta de tratamiento del Barrio San Antonio de Sololá

Figura 2. Croquis de la planta de tratamiento del cual se obtuvo el agua a utilizar



Fuente: Elaboración propia, 2014.

D. Tratamientos

El estudio se conformó de 5 tratamientos con 4 repeticiones. La unidad experimental fue de 8 plantas en 2 contenedores de tubos de pvc (4" de diámetro por 1 m de largo). Cada tubo conto con 4 orificios de 7.6 cm de diámetro y un distanciamiento de 20 cm entre centros de cada orificio. Cada contenedor contaba con un volumen aproximado de 8,100 cm³ de sustrato.

Se utilizó 8 L/m² de solución para el riego de cada tratamiento, estimando obtener una producción de 4,500 Kg/Ha⁻¹ de acuerdo al INCAP (1997).

En el Cuadro 5, se describe el agua utilizada para cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuadro 5. Tratamientos de acuerdo al agua utilizada

Abreviatura	Tratamiento	Relación Vol/por área (m ²)
PTAR	Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales	8 L/1 m ²
Agua	Agua entubada	8 L/1 m ²
Agua+AB	Agua entubada + soluciones hidropónicas A (NPK) y B (Elementos Traza)	8 L/1 m ²
Agua+PTAR	Agua entubada (sin solución hidropónica) + efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.	8 L/1 m ²
PTAR+AB	Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales + soluciones nutritivas A y B	8 L/1 m ²

Fuente: Datos de campo, 2014.

E. Diseño experimental

Se utilizó el diseño Completamente al Azar para obtener los resultados planteados y dar respuesta a los objetivos (López Bautista, 2008), así mismo para una distribución homogénea de los resultados.

El modelo estadístico, del diseño a aplicar se detalla a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

$$i=1,2,\dots,t \quad j=1,2,\dots,r$$

$$E_{j=1,2,\dots,r}$$

Donde

Y_{ij} = Variable de respuesta del cultivo lechuga de la ij-esima unidad experimental.

μ = Media general de las variables de respuesta bajo estudio.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (nivel de factor) en la variable dependiente.

E_{ij} = error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

Suponemos que hay t tratamiento y r repeticiones en cada uno.

El área experimental obtuvo condiciones homogéneas y los tratamientos se asignaron mediante una aleatorización completa, sin ninguna restricción (López Bautista, 2008, pág. 18). Las unidades experimentales fueron 20, con 5 tratamientos y 4 repeticiones detalladas en el croquis experimental (ver Figura 3.), las repeticiones fueron determinadas por los grados de libertad del error del diseño experimental utilizando la fórmula siguiente: $t(r-1) = 15$ donde t se refiere al número de tratamientos y r al número de repeticiones.

F. Variables de respuesta

1. **Altura.** Se realizó un registro de 2 plantas por unidad experimental cada semana hasta la cosecha, con una regla de medición en centímetros y obtener una proyección de crecimiento según etapa fenológica.

2. **Días a cosecha.** Se realizó un registro de días a cosecha hasta que las plantas llegaran a su madurez fisiológica comercial.

3. **Rendimiento.** Se midió en Kg/Ha^{-1} , la producción total del cultivo cosechado y dividido entre la superficie del área de cultivo en metros cuadrados. Las medidas de unidad más utilizadas son: Kilogramos por hectárea (Kg ha^{-1}) y/o Tonelada por hectárea (t/Ha).

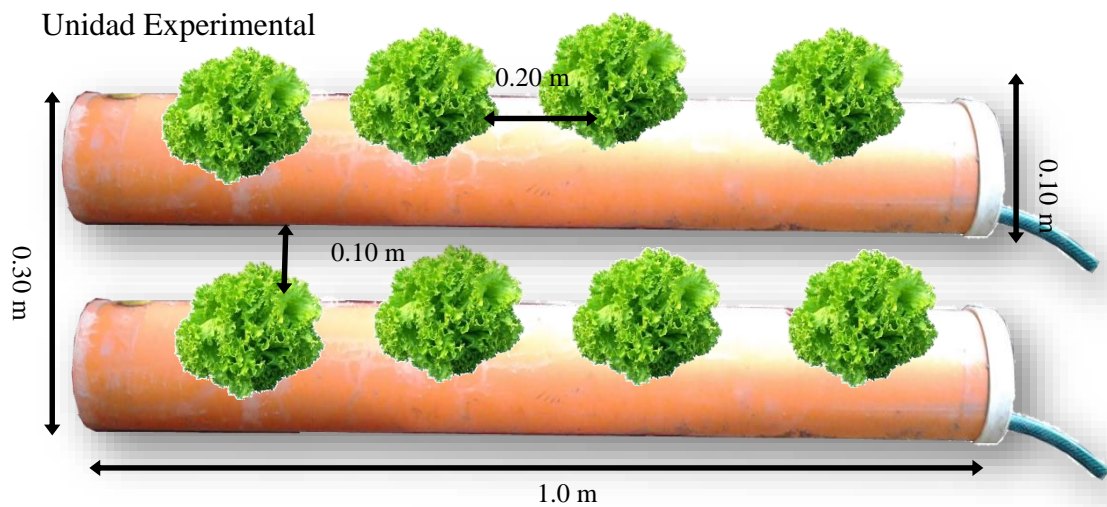
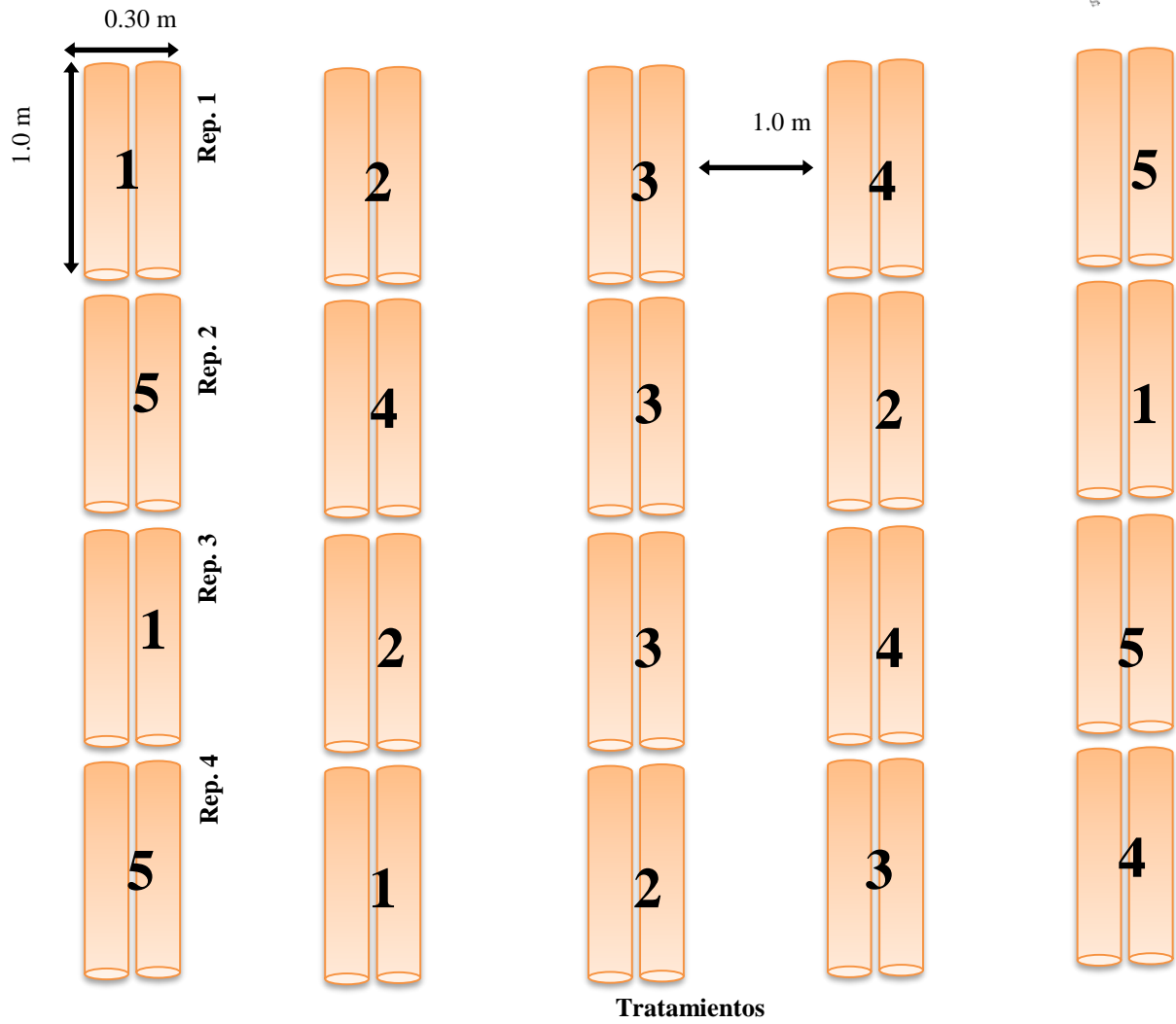
4. **Circunferencia de la planta y longitud de raíz.** Se realizaron mediciones de la circunferencia formada por el volumen de las hojas y longitud de raíz al momento de la cosecha registrando los datos.

5. **Análisis microbiológico.** Se realizó análisis microbiológico, en agua utilizada para riego y en las plantas de lechuga. Antes y después de utilizar las fuentes de agua se analizaron en el laboratorio de microbiología del CEA-UVG (Centro de Estudios Atitlán de la Universidad del Valle de Guatemala campus Altiplano). Fue importante para determinar la presencia de patógenos para asegurar la salubridad y calidad del producto final. Durante la cosecha se envió material vegetal (lechuga) al del Departamento de Bioquímica y Biología de la Universidad del Valle de Guatemala campus Central, para determinar la presencia de estos patógenos.

6. **Análisis químico.** Se realizaron análisis de los nutrientes de Nitrógeno (en forma de Amonio y Nitratos) y Fósforo (en forma de Orto-fosfatos), en el laboratorio del Centro de Estudios Atitlán para obtener evidencia de la cantidad de nutrientes presentes en cada tratamiento se detalla de la siguiente manera:

G. Croquis experimental

Figura 3. Croquis y distribución del experimento



Fuente: Elaboración propia, 2014.

H. Manejo agronómico del experimento

1. **Trasplante.** Se realizó de forma manual, colocando 4 plantas por contenedor, la unidad experimental constaba de dos contenedores, haciendo un total de 8 plantas por unidad experimental (Figura 4).

Figura 4. Fotografías del trasplante



Fuente: Datos de campo 2014

2. **Distanciamiento de siembra.** La siembra se realizó a con un distanciamiento de 0.20 m al cuadrado entre planta y 1 m entre calle.

3. **Riego.** Se utilizó riego localizado con 300 ml de agua por planta, tomando como base el consumo de agua diario del cultivo. Se efectuó un riego de 5 días consecutivos antes y después del trasplante; y estableciendo una frecuencia de riego de 3 a 4 días, tomando en cuenta la humedad del sustrato. (CIATA, 1998).

Para evitar que el agua de cada tratamiento, se mezclara uno con otro se utilizaron tubos de pvc de 4” como contenedor individual, garantizando la separación de los tratamientos evaluados. El sistema utilizado contaba con drenaje tipo manguera con un diámetro de 13 mm (½”) para expulsar el excedente del riego (ver Figura 3). Se recuperaba aproximadamente la mitad de lo aplicado en cada contenedor, lo recuperado se aprovechó para reutilizarlo con otro riego.

4. Fertilización. Solo dos tratamientos contaron con fertilización, los cuales fueron; Agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) y PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas); La dosis utilizada para los tratamientos fue de 5 ml/L solución A y 2 ml/L solución B, de acuerdo a las indicaciones del proveedor (INCAP). En los tratamientos restantes no se aplicaron soluciones nutritivas, utilizando el agua descrita anteriormente (Cuadro 5).

Las fuentes de nitrógeno y fósforo contenidas en la solución madre (A) fueron: Fosfato mono amónico (MAP), nitrato de calcio y nitrato de potasio. El contenido total de nitrógeno en un litro de solución madre corresponde a 55 g y 17 g de fósforo. De acuerdo a las especificaciones del INCAP se diluye 5 ml de la solución A en 1 L de agua, obteniendo concentraciones de 0.275 g/L de nitrógeno y 0.085 g/L de fósforo. Por riego se aplicó aproximadamente 300 ml de agua a cada planta, equivalente a 0.0825 g de nitrógeno y 0.0255 g de fósforo.

El requerimiento nutricional para lechuga son 60 Kg/Ha⁻¹ de nitrógeno y de 120 Kg/Ha⁻¹ de fósforo, en un ciclo de cultivo. Cada planta de lechuga demanda un total de 1.35 g de nitrógeno y 2.7 g de fósforo, con una fertilización convencional, comparado con el uso de las soluciones hidropónicas y a las recomendaciones del INCAP se aplicó 2.97 g de nitrógeno y 0.918 g de fósforo por planta durante todo el ciclo del cultivo.

5. Control de plagas y enfermedades. Se realizaron monitoreos y muestreos constantes, con el propósito de determinar la presencia de algún patógeno que pudiera afectar la planta durante su ciclo fenológico.

6. Cosecha. El proceso de cosecha se realizó de forma manual, el producto fue debidamente identificado por cada tratamiento experimental y se pesó en kilogramos (kg). Para dar respuesta a los objetivos planteados. Además, se realizaron mediciones de altura, circunferencia del volumen formado por las hojas, longitud de raíces, altura de la planta y se tomaron fotografías de las plantas cosechadas al menos dos de cada repetición, repitiendo el proceso para cada tratamiento.

7. Análisis de datos. Se realizó un análisis de varianza de 5 tratamientos y 4 repeticiones utilizando el modelo estadístico completamente al azar.

V. RESULTADOS

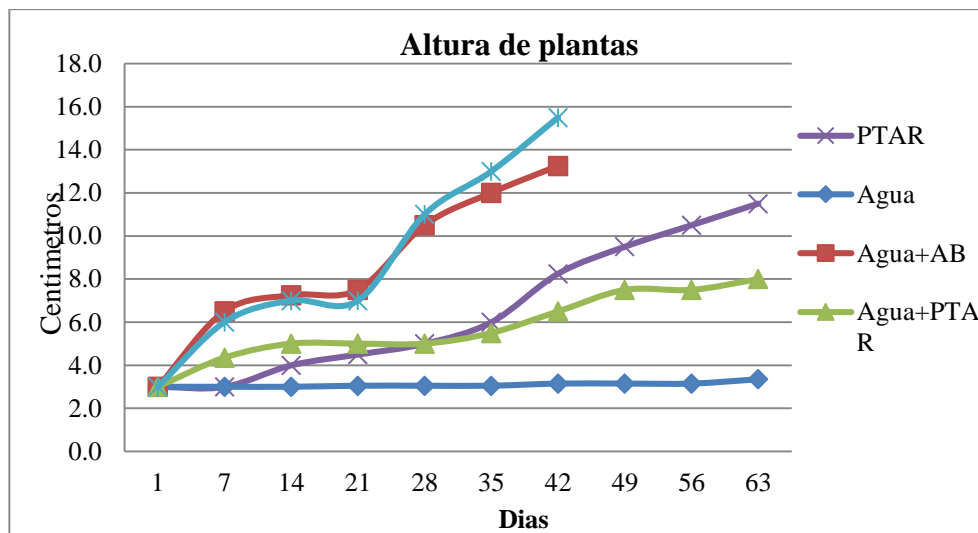
A. Crecimiento y días a cosecha

Cuadro 6. Alturas y días a cosecha de los tratamientos en centímetros

No. Día	Promedio de altura (cm)				
	PTAR	Agua	Agua+AB	Agua+PTAR	PTAR+AB
1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
7	3.0	3.0	6.5	4.4	6.0
14	4.0	3.0	7.3	5.0	7.0
21	4.5	3.1	7.5	5.0	7.0
28	5.0	3.1	10.5	5.0	11.0
35	6.0	3.1	12.0	5.5	13.0
42	8.3	3.2	13.3	6.5	15.5
49	9.5	3.2	---	7.5	---
56	10.5	3.2	---	7.5	---
63	11.5	3.4	---	8.0	---

Fuente: Datos de campo, 2014.

Figura 5. Relación entre alturas y días a cosecha



Fuente: Datos de campo, 2014.

El Cuadro 6 y Figura 5 muestran que los tratamientos con mayor altura promedio fueron; Agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) y PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) que contienen solución hidropónica en su mezcla, terminando su ciclo de cultivo en 42 días después del trasplante indicando una precocidad significativa. El tratamiento con

menor altura promedio fue Agua (agua entubada) que durante su ciclo del cultivo mantuvo la altura de 3 centímetros y culminando a los 63 días después del trasplante.

B. Rendimiento

Cuadro 7. Comparación de rendimientos promedios en Kg/Ha⁻¹ entre soluciones hidropónicas y agua de tratamiento secundario

Trat. \ Rep.	I	II	III	IV
Agua+AB	3,987.31	4,216.15	4,728.46	4,918.46
PTAR+AB	4,336.54	4,720.77	4,604.62	5,613.08
PTAR	2,086.54	2,233.85	1,925.38	2,532.31
Agua+PTAR	1,212.31	1,105.38	1,203.85	940.00
Agua	98.46	130.00	93.08	78.46

Fuente: Datos de campo, 2014.

Cuadro 8. Análisis de varianza del diseño completamente al azar

Fuentes de Variación	de Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F critica
Tratamientos	4	67966184.00	16991546.00	147.04	0.00
Error	15	1733312.00	115554.13		
Total	19	69699496.00			

Fuente: Datos de campo, 2014.

Coefficiente de Variación = CV = 13.3924 %

Cuadro 9. Diferencia mínima significativa al 5%

Rep.	Media	Diferencia Media Significativa al 5%
PTAR+AB	4818.75	A
Agua+AB	4462.60	A
PTAR	2194.52	B
Agua+PTAR	1115.38	C
Agua	100.00	D

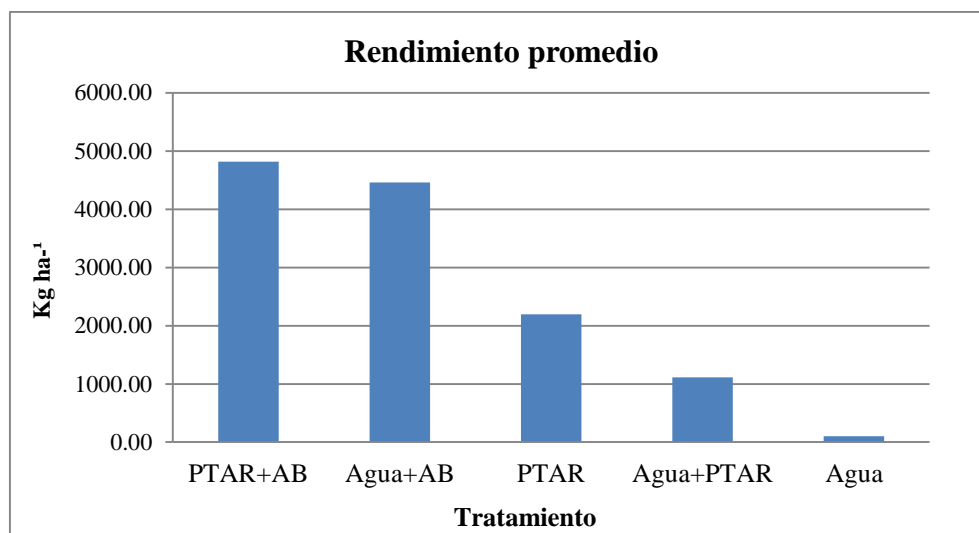
Fuente: Datos de campo, 2014.

Diferencia media significativa = 512.22

Los Cuadros 8 y 9 indican una diferencia significativa entre tratamientos, además se obtuvo un coeficiente de variación bajo del 13.3924 % demostrando homogeneidad en toda la parcela experimental. La diferencia mínima significativa de medias entre tratamientos, indica que PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) y Agua+AB (agua entubada más

soluciones hidropónicas) son superiores a los demás con rendimientos del 4,818.75 y 4,462.60 Kg/Ha⁻¹, seguidamente PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) con 2,194.52 Kg/Ha⁻¹, Agua+PTAR (agua entubada más efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) con 1,115.38 Kg/Ha⁻¹ y por último el tratamiento Agua con 100.00 Kg/Ha⁻¹.

Figura 6. Rendimiento promedio en Kg/Ha⁻¹



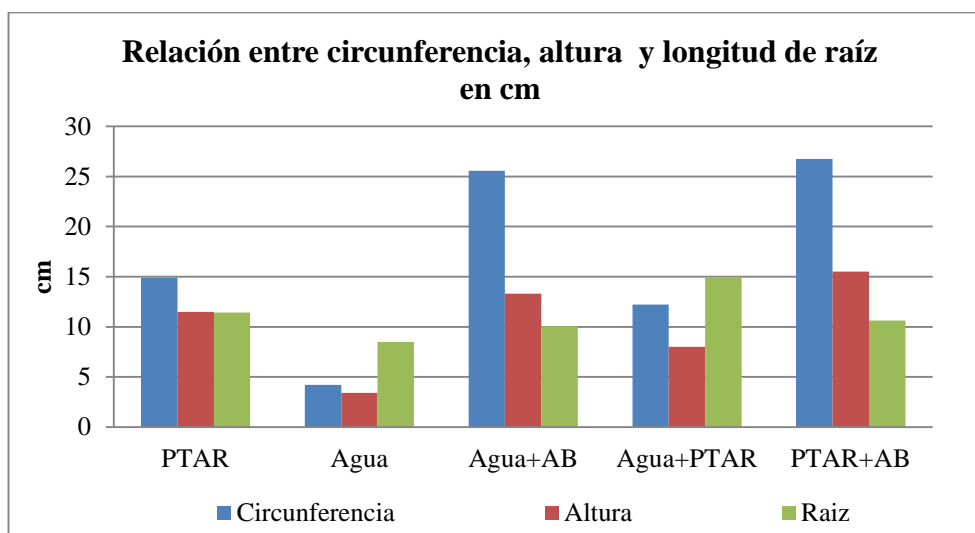
Fuente: Datos de campo, 2014.

El tratamiento con mayor rendimiento es PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales mas solución hidropónica), debido a la carga nutrientes en el agua de la planta de tratamiento más la adición de soluciones nutritivas, disponen grandes cantidades de nutrientes y fácil asimilación para el cultivo. El tratamiento con menor rendimiento fue Agua (agua entubada) porque se utilizó únicamente su característica química natural sin la adición de soluciones nutritivas, observando un desarrollo vegetal deficiente.

C. Relación entre circunferencia, altura y longitud de raíz en centímetros (cm)

Los parámetros de altura y raíz son utilizados para determinar la calidad de lechuga, la variedad de lechuga cultivada fue tipo escarola, lo cual significa que no formo cabeza, sin embargo, se le realizo una medición de la circunferencia que atribuye la calidad del producto.

Figura 7. Relación entre circunferencia, altura y longitud de raíz en centímetros (cm).



Fuente: Datos de campo, 2014.

En la Figura 7 se observa que la altura y circunferencia de plantas en los tratamientos Agua+AB (Agua entubada mas solución hidropónica) y PTAR+AB (Efluente de la planta de tratamiento más solución hidropónica) que incluyen solución hidropónica en su mezcla alcanzaron una altura máxima de 16 cm y circunferencia de 27 cm, en comparación con los demás tratamientos.

El tratamiento Agua+PTAR (agua entubada más efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) presentó un enraizamiento superior, el fósforo es mayormente disponible al mezclar estas dos fuentes de agua que liberan enlaces fácilmente asimilables para la raíz de la planta, mientras los demás tratamientos se observan similares en longitud de raíz.

Estos parámetros indican que el cultivo de Lechuga (*L. sativa*) funcionó como un filtro biológico de nutrientes de agua regenerada que disminuye el exceso de nutrientes en los cuerpos de agua.

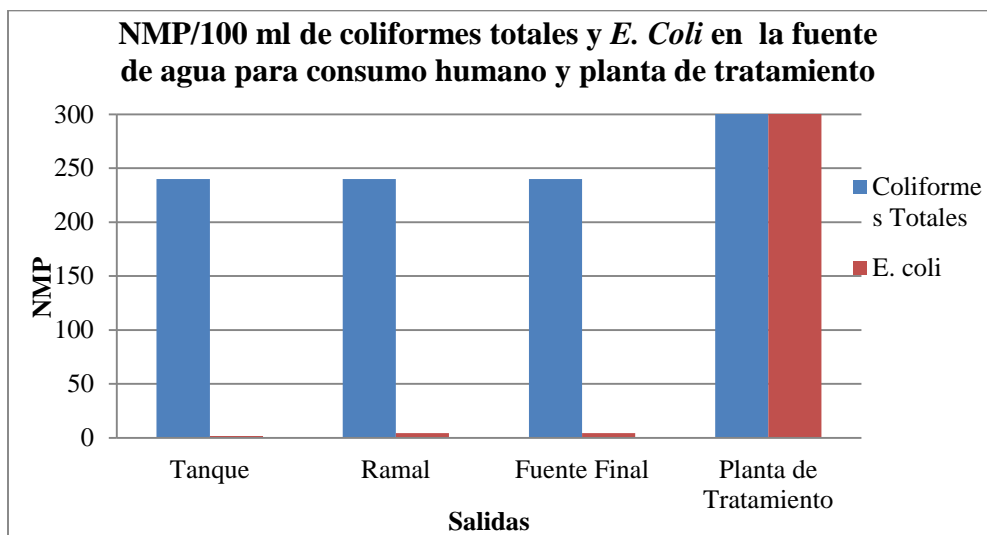
D. Análisis microbiológico

1. Análisis microbiológico en agua. La metodología utilizada para determinar la presencia de microorganismos fue a través de kits de Colilert, que consiste en agregar una mezcla en polvo preparado para 100 ml de agua, luego es incubado por 24 horas, después de incubado se procede a determinar con el método de NMP (número más probable).

Cuadro 10. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y *Escherichia coli* en fuentes de agua.

Tratamientos	Coliformes Totales	<i>E. coli</i>
Tanque	240	1.8
Ramal	240	4.5
Fuente Final	240	4.5
Planta de Tratamiento	2400	2400

Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

Figura 8. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y *E. coli* en las fuentes de agua.

Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

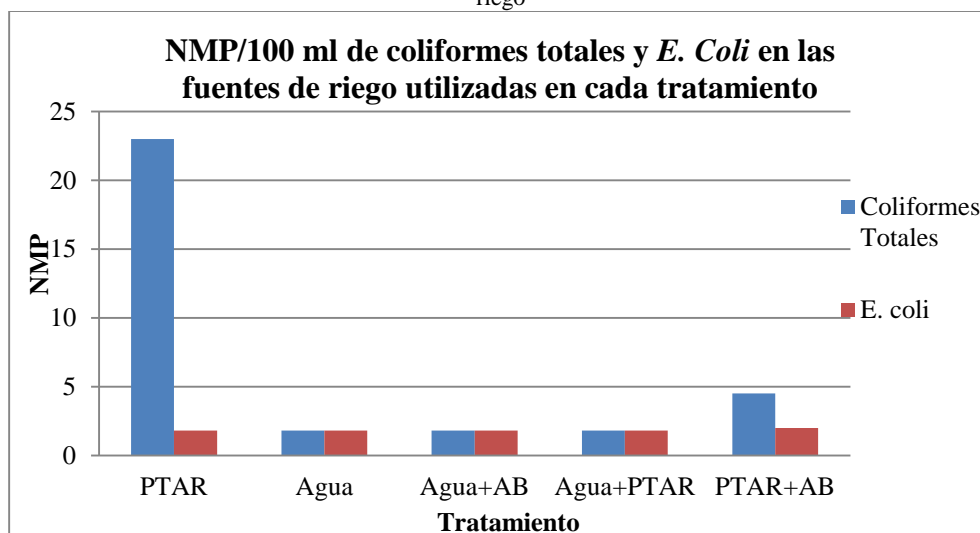
Como se puede observar en el Cuadro 10 y Figura 8, las fuentes de agua están contaminadas con coliformes totales y *E. coli* en el efluente de la planta de tratamiento, indica que la concentración de microorganismos es alta, mayor a 2,400 NMP/100 ml (número más probable en 100 ml). Determinando que las fuentes de agua a utilizar estaban contaminadas representando un peligro para la salud humana si estos fuesen ingeridos.

Cuadro 11. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y *E. coli* en el agua para riego de cada tratamiento

Tratamientos	Coliformes Totales	<i>E. coli</i>
PTAR	23	1.8
Agua	1.8	1.8
Agua+AB	1.8	1.8
Agua+PTAR	1.8	1.8
PTAR+AB	4.5	2

Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

Figura 9. Número más probable en 100 mililitros de coliformes totales y *E. coli* en los tratamientos utilizados para riego



Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

Se puede observar que todos los tratamientos disminuyen considerablemente las concentraciones de coliformes totales y *E. coli*. Después de ser sometidas a un tratamiento terciario basado en cloro al 5% dosis comercial, aplicando 2 gotas por litro.

El desarrollo de microorganismos es alto en el efluente de la planta de tratamiento, sin embargo, el tratamiento con la mezcla de soluciones nutritivas, indica un desarrollo limitado y dentro de los límites permisibles de *E. coli*, pero la concentración de coliformes totales supera el límite permisible recomendando un tratamiento anexo para la eliminación de este.

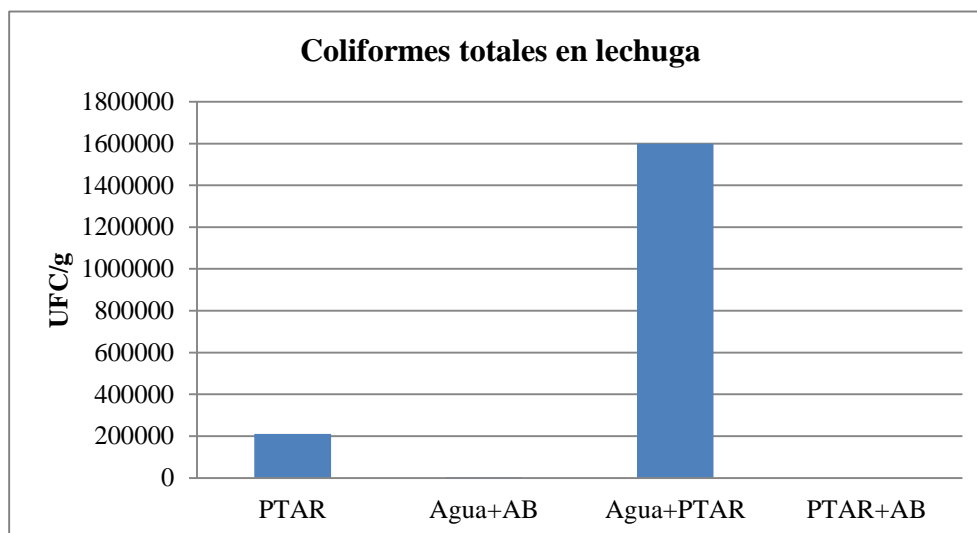
2. Análisis microbiológico en plantas. Los coliformes totales y *E. coli* se determinaron a través de Petrifilms 3M. Donde se utilizaron muestras frescas de cada tratamiento, se procedió a cortar la muestra en pequeños trozos, para pesar 25g de cada una, al obtener el peso mencionado se agregó 125 ml de una solución de agua peptonada, con el fin de extraer los microorganismos presentes en la planta. Con el extracto obtenido se realizaron diluciones que fueron de proporciones; 1:1 (1 en 1), 1:10 (1 en 10) y 1:100 (1 en 100), estas se incubaron durante 48 horas, completada la incubación se procedió a contar las unidades que formaron colonias (UFC).

Cuadro 12. Unidades formadoras de colonias por gramo de coliformes totales y *E. coli* en lechuga

Tratamientos	Coliformes totales	<i>E. coli</i>
PTAR	210000	<100
Agua+AB	4300	<100
Agua+PTAR	1600000	<100
PTAR+AB	230	<100

Fuente: Resultados del Departamento de Bioquímica y Biología, 2014.

Figura 10. Unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) de coliformes totales en lechuga.



Fuente: Resultados del Departamento de Bioquímica y Biología, 2014.

Los tratamientos analizados demuestran que las concentraciones de *E. coli* se encuentran dentro de los límites permisibles, sin embargo, las concentraciones de coliformes totales superan el límite permisible establecido, concluyendo que no es apto para el consumo humano, sin antes utilizar un tratamiento preliminar a las aguas regeneradas para integrarlo a como un sistema de riego.

Cabe mencionar que el análisis de la muestra vegetal del tratamiento de Agua (agua entubada), no se realizó por insuficiente biomasa requerida para dicho análisis.

E. Análisis químico

Se utilizaron curvas estándar de concentraciones de 0 a 200 microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$), además se implementó un control de calidad de las muestras, para obtener datos confiables y minimizar el error analítico. Los tratamientos fueron sometidos a varias diluciones para determinar las concentraciones de cada nutriente, las diluciones utilizadas fueron; 1:1 (uno en uno), 1:10 (uno en diez), 1:100 (uno en cien), 1:1000 (uno en mil) y 1:10000 (uno en diez mil). Los métodos para la determinación de concentraciones de nutrientes están basados en colorimetría, obteniendo resultados con la ayuda de un espectrofotómetro y los principales reactivos indicadores fueron: Amonio por indofenol, Nitrato por Hidrazina y Orto-fosfatos por acidificación (ácido ascórbico).

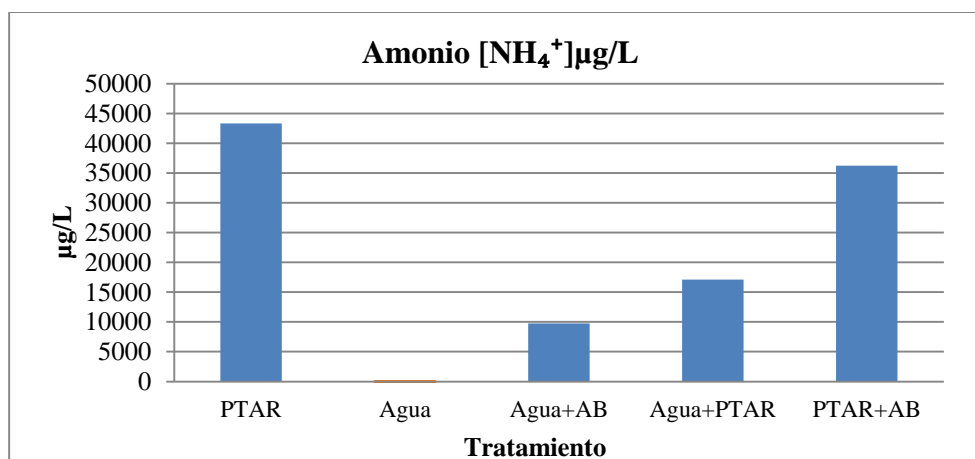
Cuadro 13. Concentraciones de amonio, nitratos y orto-fosfatos en microgramos por litro

Tratamientos	Amonio [NH ₄ ⁺] μ g/L	Nitratos [NO ₃ ⁻] μ g/L	Orto-fosfatos [PO ₄ ⁻] μ g/L
PTAR	43,339.10	3,160.74	1,480.48
Agua	51.35	5.76	60.89
Agua+AB	9,757.09	10,314.88	2,973.80
Agua+PTAR	17,119.27	1,075.64	2,715.18
PTAR+AB	36,209.49	10,591.36	527.92

Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

1. **Amonio [NH₄⁺].** Altas concentraciones de amonio, indican la contaminación en los cuerpos de agua, por la degradación incompleta de materia orgánica, este nutriente es biodegradable y disponible para los organismos fotosintéticos, al ser consumido disminuye su concentración indicando un parámetro de calidad del agua (Roldan, 2008).

Figura 11. Concentraciones de amonio en tratamientos microgramos por litro

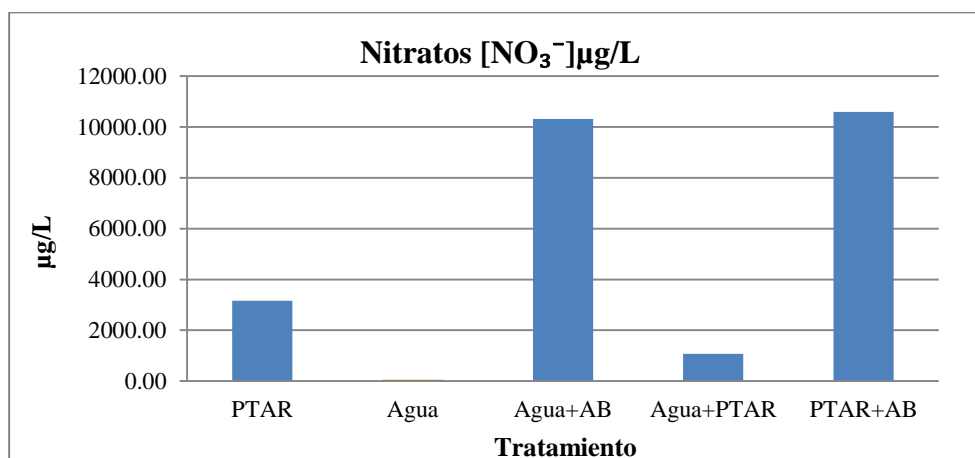


Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

De acuerdo a la Figura 11, el tratamiento con mayor concentración de amonio es el de PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) con 43,339.10 μ g/L (microgramos por litro), le sigue el PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales mas solución hidropónica) con 36,209.49 μ g/L, pero con la mezcla de soluciones nutritivas se ve limitado y finalmente el tratamiento con menor concentración de amonio es el Agua (agua entubada) con 51.35 μ g/L.

2. **Nitratos [NO₃⁻].** El proceso de nitrificación ocurre en dos etapas; comienza con la oxidación del amonio a nitritos, seguido de la oxidación del nitrito a nitrato. Estos componentes son más estables que el amonio y de igual manera disponible para los organismos fotosintéticos (Roldan, 2008).

Figura 12. Concentraciones de nitratos en tratamientos en microgramos por litro.

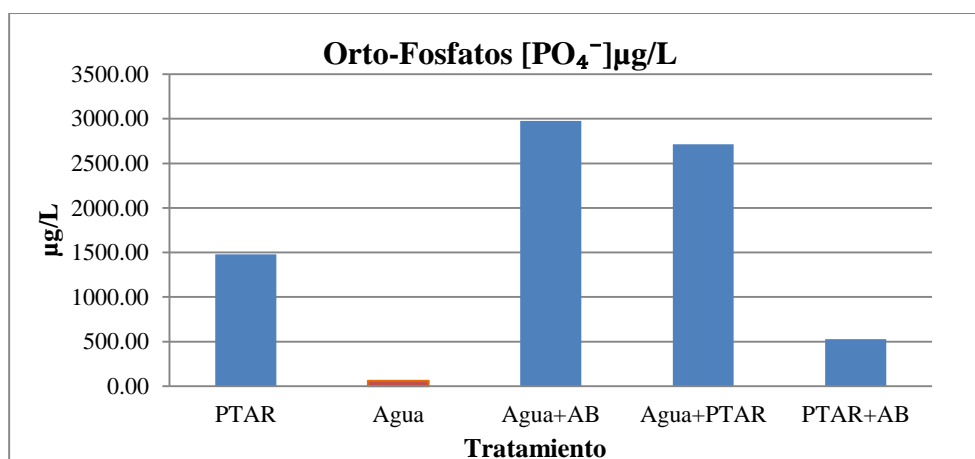


Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

En la Figura 12, se observa que los tratamientos con mayor concentración de nitratos son Agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) con 10,314.88 µg/L (microgramos por litro) y PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) con 10,591.36 µg/L, porque la base química de las soluciones nutritivas está compuesta por nitratos (ver marco teórico apartado B.3.). El tratamiento con menor concentración es Agua (agua entubada) con 5.76 µg/L, utilizando únicamente la naturaleza química del agua sin manipulación alguna.

3. Orto-fosfatos [PO₄⁻]. El fósforo orgánico se encuentra en forma de orto-fosfatos, jugando un papel importante en la contaminación de los cuerpos de agua, pero de igual manera, es biodegradable y disponible para los organismos fotosintéticos, al ser consumido disminuye su concentración indicando un parámetro de calidad del agua (Roldan, 2008).

Figura 13. Concentraciones de orto-Fosfatos en tratamientos en microgramos por litro.



Fuente: Resultados del laboratorio de Análisis y monitoreo del Centro de Estudios Atitlán, 2014.

En la Figura 13, se determinó que el tratamiento con mayor concentración de orto-fosfatos es Agua+AB (agua entubada mas solución hidropónica) con 2,973.80 $\mu\text{g/L}$ (microgramos por litro) y el tratamiento con menor concentración es Agua (agua entubada) con 60.89 $\mu\text{g/L}$. Además, se observó que al mezclar agua entubada con soluciones hidropónicas y agua del efluente se rompen enlaces del fósforo orgánico permitiendo su disponibilidad y asimilación.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Altura

El tratamiento con mayor altura fue PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) con 15.5 centímetros de altura, seguidamente Agua+AB (agua entubada) con 13.3 centímetros, PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) con 11.5 centímetros, Agua+PTAR (agua entubada más efluente de la planta de tratamiento en relación 1:1) con 8 centímetros y por último el Agua (agua entubada) mantuvo una altura de 3 centímetros durante el ciclo.

Al mezclar solución hidropónica con agua entubada y efluente, se observó una diferencia significativa en altura comparada con el resto de tratamientos, porque la carga de nutrientes principalmente se basa nitrógeno y fósforo disponibles, aportando a la planta un desarrollo de tejidos radicular y apical.

B. Días a cosecha

Los tratamientos que disminuyeron el ciclo de cultivo fueron: PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento más solución hidropónica) y Agua+AB (agua entubada mas solución hidropónica) con 42 días después del trasplante, considerándose precoces comparado con la producción tradicional de 90 días. Los tratamientos en un rango de 63 días fueron: PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales), PTAR+Agua (efluente de la planta de tratamiento más agua en relación 1:1) y Agua (agua entubada), cabe mencionar que el ultimo tratamiento incluso al llegar a los 63 días, no se observó ningún tipo de desarrollo en la plnta desde su trasplante, dando por finalizado su estudio.

C. Rendimiento

Para dar respuesta a nuestro primer objetivo fue importante determinar el rendimiento por hectárea, de cada tratamiento, para conocer si existía una diferencia significativa en las dos fuentes de agua utilizadas para el sistema hidropónico. Los tratamientos con mayor rendimiento fueron PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) con 4,818.75 Kg/Ha⁻¹ y Agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) con 4,462.60 Kg/Ha⁻¹, observado que los tratamientos con soluciones nutritivas en su mezcla, fueron superiores al resto de tratamientos.

Cabe mencionar que el rendimiento de PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) obtuvo 2,194.52 Kg/Ha⁻¹ y Agua+PTAR (agua entubada más efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) con 1,115.38 Kg/Ha⁻¹, concluyendo que la producción del cultivo de lechuga no tuvo un mejor rendimiento, utilizando únicamente agua regenerada como fuente de nutrientes, aceptando la hipótesis nula y rechazando la alterna.

De acuerdo al análisis de varianza para el diseño experimental totalmente al azar, indica que los tratamientos PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) y Agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) son similares en rendimiento, pero el tratamiento PTAR+AB está generando una alternativa de uso al agua del efluente de las plantas de tratamiento y el aprovechamiento de nutrientes en su química, generando información base y cumpliendo con el segundo objetivo planteado, mientras que el tratamiento Agua+AB se considera como la tecnología básica para un sistema hidropónico.

El sustrato roca pómez utilizado en el experimento demostró ser el indicado para este sistema, observando que todos los tratamientos demostraron un buen desarrollo de las raíces inclusive el tratamiento que no conto con ningún tipo de agregado de nutrientes o fertilización.

D. Análisis microbiológico

1. Análisis microbiológico en agua. El resultado final del análisis microbiológico para cada tratamiento, se obtuvo después de ser sometidas a un tratamiento terciario de desinfección basado en cloro al 5%, dosis comercial, aplicando 2 gotas por litro, observando una disminución significativa en las concentraciones entre coliformes totales y *E. coli*, en comparación con el primer análisis realizado, en las fuentes de agua utilizadas. El tratamiento con mayor concentración de coliformes totales fue PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) con 23 NMP/100 ml (número más probable en 100 ml) seguidamente, el tratamiento PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) con 4.5 NMP/100 ml, ubicándose fuera de los límites permisibles establecidos según acuerdo gubernativo 12-2011.

El tratamiento PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales mas solución hidropónica) fue el único que se ubicó fuera de los límites permisibles de *E. coli*, sin embargo, el resto de tratamientos estuvieron dentro de los límites permisibles tanto para coliformes totales y *E. coli*.

Después de analizar microbiológicamente el agua del efluente de las plantas de tratamiento, se determinó que las concentraciones de microorganismos pueden ser removidos, con un tratamiento extra y el uso de cloro, antes de ser utilizado en un sistema hidropónico; cumpliendo con el acuerdo gubernativo 12-2011, haciendo uso correcto del recurso y así obtener productos agrícolas libres de patógenos dañinos a la salud.

2. Análisis microbiológico en plantas

El tratamiento con mayor concentración de coliformes totales es Agua+PTAR (agua entubada más efluente de la planta de tratamiento en relación 1:1) con 1,600,000 UFC/g (unidades formadoras de colonias por gramo), seguidamente encontramos PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas

residuales) con 210,000 UFC/g, Agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) con 4,300 UFC/g y por último PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento más soluciones hidropónicas) con 230 UFC/g.

Las concentraciones de *E. coli*, en los tratamientos analizados, se encontraban por debajo del límite de detección según el método utilizado, pero las concentraciones de coliformes totales están sobre los límites de acuerdo a los establecidos por Food and Drug Administration y Organización Panamericana de la Salud, generando un riesgo para la salud humana si el producto es consumido.

E. Análisis químico

Se determinó que el amonio está mayormente disponible en el tratamiento PTAR (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales) y el PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) se ve limitada al realizar una mezcla con soluciones nutritivas.

Las concentraciones de nitrato son mayores en los tratamientos mezclados con solución nutritiva, porque la base química de la solución A y B están preparadas en base a nitratos.

El fósforo (orto-fosfato) analizado, indica que al mezclar agua entubada sin soluciones hidropónicas y agua del efluente se rompen enlaces del fósforo orgánico permitiendo su disponibilidad y asimilación.

Al determinar los nutrientes principales de nitrógeno y fósforo en las fuentes de agua, permitió identificar la carga máxima y mínima disponible para cada tratamiento, observando una alta significancia en el tratamiento PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) porque influyó en la reducción del ciclo fenológico, en la absorción de nutrientes, el desarrollo radicular y apical, por ende, un rendimiento superior a los demás.

VII. CONCLUSIONES

Se encontró que una mezcla estándar hidropónica es similar al utilizar agua regenerada de tratamiento secundario, los tratamientos con mezcla hidropónica demostraron ser similares estadísticamente en rendimiento, cabe resaltar que los tratamientos con soluciones nutritivas en su mezcla, poseen una diferencia significativa en la disponibilidad de nutrientes, de acuerdo a los datos obtenidos podemos concluir que el agua regenerada es eficiente para riego en hidroponía.

Se utilizaron las plantas de lechuga como un indicador para la extracción y el aprovechamiento de nutrientes en un sistema hidropónico, evidenciando así la eficiencia de este sistema. Además de aplicarse en otros sistemas de riego localizados y otros cultivos como filtros biológicos que ayuden a reducir la carga de nutrientes, antes de ingresar a un cuerpo de agua.

Los resultados de laboratorio microbiológicos obtenidos del efluente de las plantas de tratamiento y las fuentes de agua locales, indican su contaminación con patógenos dañinos para la salud. El agua utilizada para riego agrícola, debe desinfectarse con un tratamiento anexo más la dosificación de cloro comercial al 5%, cumpliendo con los límites permisibles del acuerdo gubernativo 12-2011.

En el material vegetal (lechuga) se determinó la concentración de coliformes totales y *E. coli*, observando, el tratamiento PTAR+AB (efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) sobre los límites de detección, generando un riesgo para la salud humana si el producto es consumido sin un tratamiento previo.

En los resultados químicos se encontró que la disponibilidad de amonio es mayor en el agua regenerada, comparado con los demás tratamientos; se ve limitado por las mezclas de soluciones nutritivas. Con referencia a los nitratos las concentraciones son favorecidas con la mezcla de soluciones hidropónicas y en orto-fosfatos al mezclar agua entubada con el efluente de la planta de tratamiento y soluciones nutritivas es mayormente disponible, es decir, que nitrógeno y fósforo se encuentran en formas fácilmente asimilables para las plantas, beneficiándolas en su crecimiento y desarrollo.

Se determinó que el efluente de la planta de tratamiento en la dosis utilizada no cumple con los requerimientos para el desarrollo completo del cultivo, es decir, que se pueden mejorar las propiedades químicas con la adición de soluciones nutritivas para integrarlas en un sistema hidropónico.

VIII. RECOMENDACIONES

Utilizar agua regenerada para el riego agrícola es una alternativa de suma importancia, porque es responsabilidad reutilizar cada recurso dentro del área de Sololá y no contribuir con el deterioro de los recursos naturales.

No se recomienda utilizar cultivos de tipo bulbo o raíz, de esta manera se evita la contaminación directa por aguas regeneradas, el cultivo lechuga es uno de los productos que se consume en fresco lo cual es preocupante para la población del área que utiliza el agua regenerada como sistema de riego sin ningún tipo de tratamiento previo a su aplicación.

Al trabajar con agua regenerada debe considerarse, que contienen microorganismos que representan riesgos para la salud. Al utilizarse en la agricultura es necesario realizar un tratamiento terciario anexo más una desinfección con cloro comercial. Además, debe ir acompañado con un análisis microbiológico antes y después de la desinfección para conocer la concentración de patógenos presentes en el agua, minimizando el riesgo a la salud.

Debido a la contaminación del material vegetal por coliformes totales, se debe implementar un análisis microbiológico antes del trasplante y después del ciclo del cultivo, para evidenciar la presencia de microorganismos que afecten la salubridad y el consumo del producto.

Se demostró que el sistema hidropónico utilizado es eficiente, siendo evidente en el rendimiento final, logrando resultados satisfactorios en la mayoría de los tratamientos trabajados, si la fuente de agua a utilizar es rica en nutrientes, se debe de dosificar adecuadamente, para que el cultivo utilizado tenga un desarrollo completo durante su ciclo.

Se recomienda utilizar contenedores pvc de 4" con aperturas circulares de 7.6 centímetros de diámetro por 1 metro de largo utilizando un sistema de drenaje tipo manguera como las que se instalaron para esta investigación. Se recomienda utilizar el sustrato piedra pómez con tamaño de 5 a 7 mm sin mezcla alguna demostró eficiencia, en el enraizamiento, anclaje, aireación y retención de la humedad.

Reciclar el agua con el sistema de drenaje nos ayuda a optimizar el uso del agua para riego debido a que solo se humedece el sustrato lo suficiente para el consumo de las plantas y se puede volver a utilizar para un segundo riego.

Se determinó que el agua regenerada de la planta de tratamiento sin mezcla alguna contiene nutrientes, pero la dosis empleada no es suficiente para el desarrollo del cultivo, por lo que se recomienda duplicar la dosificación a 600 ml por planta y cumplir con la exigencia nutricional.

Las soluciones madres se deben preparar de acuerdo a los requerimientos de cada cultivo, esto varía por las exigencias de cada cultivo en específico.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, Igrid Odette. 2008. *Diagnostico Socioeconómico, Potencialidades Productivas y Propuestas de Inversión*. Guatemala. 717 págs.
- Bautista, Melgin Conrado. 2000. *Evaluación de Cuatro Variedades de Lechuga En Cultivo Hidropónico, Utilizando Como Sustrato Arena y Cascarilla de Arroz*. Guatemala. 57 págs.
- BIOAGUA Tratamiento de Aguas. *Cloración*. <http://www.plantasdetratamientos.cl/2009/02/26/cloracion/> [23 de Octubre del 2013]
- Centro de Investigacion Aplicada y Tecnologia Agroalimentaria. 1998. *Horticultura*. España. 5 págs.
- Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. 2010. *Norma COGUANOR NTG29001, Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala. 12 págs.
- Consolider-tragua. 2010. *Guía Metodológica para el uso de aguas regeneradas*. España. 45 págs.
- de Bustamante, Irene. 2010. «La reutilización de las Aguas regeneradas en España ». *Revista Aqua-Lac*. II (1): 1-17.
- de Vargas, Lidia. 2004. *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida*. Lima. 278 págs.
- del Pino, María; 2008. *Reutilización mediante riego*. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España. 97 págs.
- Díaz, Sheilee. 2005. «Control microbiológico de Enterobacterias de las ensaladas preparadas en el Servicio de Alimentación del Hospital General de Enfermedad Común del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS)». Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 51págs.
- Environmental Protection Agency. 2004 . *Guidelines for Water Reuse*. Washintong, DC. 450 págs.
- García Soto, Carlos. 2008. *Depuracion de Aguas y Reutilización*. España.87 págs.
- García Zumel, Manuel. 2013. *El cultivo de la lechuga* . Palencia. 35 págs.

- Gobierno de Navarra. 2014. «Informe del estado del medio ambiente ». *Boletín Oficial del Estado* [Navarra]. III (239): 78544-78561.
- Gordon, Fair; Charles, Geyer. (2008). *Ingeniería sanitaria y aguas residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México. 764 págs.
- Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 1997. *Manual técnico de hidroponía popular (cultivos sin tierra)*. Guatemala. 37 págs.
- Instituto Nacional de Estadística de la República de Guatemala. (2005). *Anuario Estadístico Ambiental*. Guatemala. 353 págs.
- InfoAgro. *El cultivo de la Lechuga*. <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm> [15 de Octubre del 2014]
- Lambarri, Athie. 1993. *Lagunas de Estabilización*. México. 150 págs.
- López Bautista, Ezequiel. 2008. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Guatemala. 87 págs.
- Malaca, Oscar. 2001. *Seminario de Agronegocios Lechugas Hidropónicas*. Perú. 96 págs
- Mara, Duncan. 1990. *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 212 págs.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2005. *Informe de las Visitas de Campo y Monitoreo de Calidad de Agua, en el Lago de Atitlán, Sololá*. Guatemala. 10 págs.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2006. *Acuerdo Gubernativo Número 236-2006*. Guatemala. 24 págs.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2011. *Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago Atitlán*. Guatemala. 11 págs.
- National Aeronautics and Space Administration. *Earth Observatory*. <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=41385/> [20 de Noviembre del 2012]

- Neiff, Juan. (2000). *El Regimen de Pulsos en Rios y Grandes Humedales de Sudamerica*. Argentina. 49 págs.
- Orlando, César. (2003). *Hidropónia Familiar*. Colombia: FUDESCO. 173 págs.
- Palacios, C. 23 de Noviembre de 2012. Plantas de Tratamiento en la Cuenca del Lago Atitlán. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno, Sitio Web: www.amsclae.gob.gt Tel: +(502) 79616464
- Parra, Lina. 2006. « *Operación de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable* ». Tesis Univerisidad de Colombia sede Manizales. 33 págs.
- Prats, Daniel. 2001. *Conceptos Generales Sobre Reutilizacion, Calidad de Agua y Usos Posibles*. España: Alicante. 9 págs.
- Programa Ambiental Regional para Centro América. 2004. *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales*. Guatemala. 90 págs.
- Rijk Zwaan. *Productos y Servicios*.
http://www.rijkwaaan.es/wps/wcm/connect/RZ+ES/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Lechuga?pcpage=1&frm=3&his=c293LCwwO2hhcnYsLDA7cGxbnQsLDA7cmFkaW9zY2hlZCxoYXJ2LDA7 [15 de Octubre del 2013]
- Ramírez, Antonio; L. Cardoso. 2008. *Identificación de Sistemas de Tratamiento de Lodos Residuales*. México. págs.
- Rivera, Elda. 2011. *Informe para el Programa de Uso Seguro de Aguas Residuales Para la Agricultura*. Guatemala. 92 págs.
- Rodríguez, Alfredo 2004. *Manual práctico de hidroponía*. Lima: Universidad Agraria La Molina. 170 págs.
- Roldan, Gabriel. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* 2ª Edición. Colombia: Universidad de Antioquia. 440 págs.
- Romero, Marvin. 2009. «Valoración Económica del Lago Atitlán». Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 65 págs.

SAKATA. 2013. Catálogo 2012-2013. Guatemala. 64 págs.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2002. *Hidroponía Rustica*. México. 12 págs.

Situn, Mauricio 2005. *Investigación Agrícola*. Barcenás: Enca. 137 págs.

Soledad, Beatriz. 2009. *Contaminación del agua Riesgo Ecológico, económico y social*. Venezuela. 45 págs.

Yáñez, Fabián. 2007. *Lagunas de Estabilización*. Lima. 32 págs

X. ANEXOS

A. Fotografías del experimento

Tratamiento PTAR (agua de la planta de tratamiento de aguas residuales) en la tercera semana después del trasplante.



Fuente: Datos de campo, 2014.

Tratamiento agua (agua entubada) en la tercera semana después del trasplante.





Fuente: Datos de campo, 2014.

Tratamiento agua+AB (agua entubada más soluciones hidropónicas) en la tercera semana después del trasplante.



Fuente: Datos de campo, 2014.

Tratamiento agua+PTAR (agua entubada más agua de la planta de tratamiento de aguas residuales en relación 1:1) en la tercera semana después del trasplante.



Fuente: Datos de campo, 2014.

Tratamiento PTAR+AB (agua de la planta de tratamiento de aguas residuales más soluciones hidropónicas) en la tercera semana después del trasplante





Fuente: Datos de campo, 2014.

B. Acuerdo 12-2011 Acuerdo 12-2011 descarga de aguas residuales en la cuenca Atilán.

Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atilán

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Acuerda emitir el siguiente:

"REGLAMENTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN"

**ACUERDO GUBERNATIVO No. 12-2011
Guatemala, 17 de Enero de 2011**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que la Constitución Política de la República de Guatemala preceptúa: "El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico".

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con el Decreto 68-86 del Congreso de la República, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, se deben emitir las disposiciones y reglamentos correspondientes a efecto de ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental, así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y cualquier otra causa o fuente de contaminación del sistema hídrico.

CONSIDERANDO:

Que la situación actual de los recursos naturales y el medio ambiente en la cuenca del Lago de Atilán hacen necesario dictar disposiciones específicas que prevengan la contaminación y permitan garantizar la utilización y el aprovechamiento de dicha cuenca.

POR TANTO:

En ejercicio de las funciones que le confiere el artículo 183 literal e) de la Constitución Política de la República de Guatemala y con fundamento en los artículos 1 y 15 del Decreto número 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.



ACUERDA:**Emitir el siguiente:****"REGLAMENTO DE VERTIDOS PARA CUERPOS RECEPTORES DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN"****CAPÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES**

Artículo 1. Objeto. El presente reglamento tiene por objeto fijar los parámetros y límites máximos permisibles, para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores de la cuenca del Lago de Atitlán ya sea de forma directa o indirecta, con el fin de rescatar, proteger y prevenir la contaminación del sistema hídrico.

Artículo 2. Ámbito de aplicación. El presente reglamento aplica a toda persona individual o jurídica e institución pública que generen o administren aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, dentro de la cuenca del Lago de Atitlán.

Artículo 3. Competencia. La aplicación del presente reglamento es competencia del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

**CAPÍTULO II
DEFINICIONES**

Artículo 4. Definiciones. Para los efectos de la interpretación del contenido del presente reglamento se entenderá por:

Afluente: Agua de abastecimiento para consumo o utilizada en un proceso.

Aguas residuales: las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

Aguas residuales de tipo especial: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

Aguas residuales de tipo ordinario: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas.

Alcantarillado pluvial: el conjunto de tuberías, canalizaciones y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas de lluvia.

Alcantarillado público: el conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.

Caracterización: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

Coliformes fecales: el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

Contaminación por aguas residuales: La modificación o alteración adversa de la calidad física, química, biológica y/o radioactiva del cuerpo receptor, proveniente de descargas de aguas residuales, que implique

incumplimiento de los límites máximos permisibles para los parámetros y etapas de cumplimiento establecidos en el presente reglamento.

Cuenca: Es un área delimitada geográficamente por el relieve del terreno cuyas aguas superficiales drenan hacia un mismo punto que puede ser un río, un lago, un canal o el mar.

Cuerpo receptor: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

Demanda bioquímica de oxígeno: la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

Demanda química de oxígeno: la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

Descarga directa: La descarga de aguas residuales que efectúa un ente generador a un cuerpo receptor directamente.

Descarga indirecta: La descarga de aguas residuales que efectúa el ente generador al alcantarillado o de cualquiera otra forma que no sea directa al cuerpo receptor.

Efluente de aguas residuales: Las aguas residuales descargadas por un ente generador.

Ente generador: La persona individual o jurídica pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor o al alcantarillado.

Eutricación: El proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

Lago: Cuerpo de agua encerrado sin comunicación inmediata con el mar, que puede o no tener salida a otro cuerpo receptor, con una extensión mínima de diez kilómetros cuadrados (10 km²) y profundidades mayores a diez metros (10m).

Límite máximo permisible: Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga a un cuerpo receptor en cumplimiento del presente reglamento.

Lodos: Los sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del tratamiento de aguas residuales.

Manto freático: Capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas, que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.

Monitoreo: Es el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reúso y lodos.

Muestra: Parte representativa a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.

Muestras compuestas: Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.

Muestra simple: La muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.

Parámetro: La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

Quebrada: Corriente de agua intermitente.

Río: Corriente de agua más o menos caudalosa y continua, en todo o la mayor parte del año, que fluye por un cauce y que desemboca en el mar, un lago u otra corriente del mismo tipo.

Riachuelos: Corriente natural de escaso caudal, que fluye con continuidad y que puede desaparecer durante el estiaje.

Reuso: El aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

Sistema de tratamiento de aguas residuales: Conjunto de unidades utilizadas en los procesos de tratamiento físico, químico y biológico, para mejorar las características de las aguas residuales.

Suelo: es la capa arable y fértil en donde los cultivos extraen sus nutrientes.

Subsuelo: Para la finalidad de este reglamento, es el horizonte donde se ubican los minerales y acuíferos, situados por debajo del suelo.

CAPÍTULO III ESTUDIO TÉCNICO

Artículo 5. Estudio Técnico. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten estas o no a un cuerpo receptor o a al alcantarillado público, tendrán la obligación de elaborar su Estudio Técnico, preparado por técnicos en la materia, dentro del plazo de seis meses a partir de la entrada en vigencia del presente reglamento, a efecto de caracterizar afluentes, descargas de aguas residuales, aguas para reuso y lodos.

Se exceptúan de la preparación del Estudio Técnico a toda vivienda unifamiliar y aquellas edificaciones públicas y privadas, que generen solamente aguas residuales de tipo ordinario y que cuenten con acometida autorizada hacia el alcantarillado público o de entes administradores de servicios de tratamiento de aguas residuales.

Esta excepción no aplica para las municipalidades ni las empresas que tienen concesionados los servicios de recolección, transporte, manejo o disposición de aguas residuales u lodos, ni las plantas de tratamiento de urbanizaciones que no estén conectadas a una acometida municipal.

Artículo 6. Contenido del Estudio Técnico. Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, indicadas en el artículo 5 del presente Reglamento, para elaborar y documentar el Estudio Técnico deberán tomar en cuenta los siguientes requisitos:

I. Información General:

- a) Nombre, razón o denominación social .
- b) Nombre del propietario o representante legal del Ente Generador.
- c) Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- d) Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento.
- e) Horario de descarga de aguas residuales.

- f) Descripción del tratamiento de aguas residuales.
- g) Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
- h) Caracterización de las aguas para reuso.
- i) Caracterización de lodos a disponer.
- j) Caracterización del afluente, cuando aplique en el caso de la deducción especial de parámetros.
- k) Identificación del cuerpo receptor o el alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales.
- l) Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva.

II. Documentos:

- a) Plano, mapa o fotografía satelital de la localización y ubicación, con coordenadas geográficas del ente generador y el o los dispositivos de descarga para la toma de muestras, tanto del afluente como del efluente. En el caso de afluente cuando aplique.
- b) Plan de Gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos. Las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, deben incluir su catastro de usuarios.
- c) Plan de inversión y ejecución de las acciones necesarias para el cumplimiento del plan de gestión, con su respectivo cronograma de las acciones a realizar desde la entrada en vigencia del presente reglamento hasta el treinta de junio del año dos mil trece.
- d) Plan de tratamiento de aguas residuales, que incluya los planos constructivos del sistema de tratamiento de aguas residuales, conteniendo detalles, así como el plano de ubicación y localización de dicho sistema de tratamiento.
- e) Informe de resultados de las caracterizaciones realizadas, de aguas residuales, aguas de reuso y lodos.
- f) Manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, que incluye los planos y condiciones para las fases de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento respectivos.

Artículo 7. Resguardo del Estudio Técnico. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales conservará el Estudio Técnico, manteniéndolo a disposición de las autoridades del Ministerio, cuando se le requiera por razones de monitoreo, evaluación y seguimiento y a las municipalidades e instituciones públicas con competencia legal, para efectos de monitoreo y seguimiento.

Artículo 8. Plazo para la Evaluación de Desempeño y Cumplimiento. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales debe evaluar en forma permanente el desempeño ambiental. En forma aleatoria verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de los parámetros fijados en las etapas de reducción progresiva y hará el cumplimiento de los planes de inversión contemplados en los planes de gestión, estos deben estar totalmente implementados el treinta y uno de agosto del dos mil once.

CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN

Artículo 9. Caracterización de Descargas de Aguas Residuales. Los entes generadores de aguas residuales ubicados en la cuenca del lago de Atitlán, están sujetos a las auditorías ambientales para la caracterización de las descargas que realizan, de conformidad con las disposiciones que para el efecto emita el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y demás disposiciones legales.

CAPÍTULO V
PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA

Artículo 10. Parámetros para aguas residuales. Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- 1) Temperatura
- 2) Potencial de hidrógeno
- 3) Grasas y aceites
- 4) Materia flotante
- 5) Demanda bioquímica de oxígeno
- 6) Demanda química de oxígeno
- 7) Sólidos suspendidos totales
- 8) Nitrógeno total
- 9) Fósforo total
- 10) Arsénico
- 11) Cadmio
- 12) Cianuros
- 13) Cobre
- 14) Cromo hexavalente
- 15) Mercurio
- 16) Níquel
- 17) Plomo
- 18) Zinc
- 19) Coniformes fecales
- 20) Color aparente

Artículo 11. Límites máximos permisibles para las descargas al Lago de Atitlán. Los entes generadores que descarguen aguas residuales al lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensiones	Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once Uno	Treinta de junio de dos mil trece Dos
Temperatura	Grados Celsius	TRC +/- 3º*	TRC +/- 3º*
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	50	30
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	100	60
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	60	40
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	5
Fósforo total	Miligramos por litro	10	3
Potencial de hidrógeno	Unidades Ph	6-9	6-9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1X10 ³	500
Color aparente	Unidades platino cobalto	750	400

*Temperatura del cuerpo receptor en grados Celcius.

Artículo 12. Límites máximos permisibles para las descargas a ríos, riachuelos, quebradas y zanjones. Los entes generadores que descarguen aguas residuales en ríos, riachuelos, quebradas o zanjones de la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensiones	Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once	Treinta de junio de dos mil trece
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	TRC +/- 7 ^o *	TRC +/- 7 ^o *
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	75	50
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	60
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	10
Fósforo total	Miligramos por litro	15	5
Potencial de hidrógeno	Unidades Ph	6-9	6-9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1X10 ⁴	<1X10 ⁴
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300
*Temperatura del cuerpo receptor en grados Celcius.			

Artículo 13. Límites máximos permisibles para las descargas al subsuelo. Los entes generadores que descarguen aguas residuales al subsuelo en la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensiones	Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once	Treinta de junio de dos mil trece
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	Menor de 25	Menor de 25
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	75	50
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	60
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	10
Fósforo total	Miligramos por litro	15	5
		Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once	Treinta de junio de dos mil trece
Potencial de hidrógeno	Unidades Ph	6-9	6-9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$<1 \times 10^4$	$<1 \times 10^4$
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300

Artículo 14. Límites máximos permisibles para las descargas al alcantarillado. Los entes generadores que descarguen aguas residuales al alcantarillado en la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensiones	Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once	Treinta de junio de dos mil trece
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	Menor de 40	Menor de 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50	30
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	300	200
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	150	125
Nitrógeno total	Miligramos por litro	35	20
Fósforo total	Miligramos por litro	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades Ph	6-9	6-9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1X10 ⁵	<1X10 ⁵
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300

Artículo 15. Límites máximos permisibles para entes generadores de metales pesados y cianuro total. A partir de la vigencia del presente reglamento, los entes generadores de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles para los parámetros de metales pesados y cianuro total, que se indican a continuación.

Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuro total, expresados en miligramos por litro								
Arsénico	Cadmio	Cianuro Total	Cobre	Cromo Hexavalente	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
0.1	0.1	1.0	0.5	0.1	0.01	0.5	0.1	1.0

Artículo 16. Evaluación, control y vigilancia. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales realizará:

- La evaluación en forma aleatoria de los Estudios Técnicos.
- El control y vigilancia permanente de las descargas directas o no directas, de aguas residuales de los entes generadores ubicados en la Cuenca.
- El cumplimiento de la ejecución de los planes de inversión.

Para el efecto, coordinará esfuerzos con otras instituciones.

CAPÍTULO VI PROHIBICIONES Y SANCIONES

Artículo 17. Prohibiciones. Se prohíbe a los entes generadores:

- a. Disponer a los cuerpos receptores de la cuenca del lago de Atitlán, los lodos generados en los distintos sistemas de tratamiento de las aguas residuales.
- b. Operar sin los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario, especial y mezcla de ambas, cuando no cuenten con acometida a un sistema de alcantarillado.

Artículo 18. Sanciones. El ente generador de aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, en la cuenca del Lago de Atitlán que no cumpla con lo establecido en este reglamento será sancionado de conformidad con las disposiciones legales aplicables.

CAPÍTULO VII DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Artículo 19. Plazos. Los entes generadores de aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, ubicados en la cuenca del Lago de Atitlán, que las descarguen ya sea de forma directa o indirecta, tendrán un plazo de treinta días, a partir de la vigencia del presente Reglamento, para elaborar el plan de inversión y el cronograma respectivo contemplado en el artículo 6 del presente reglamento.

CAPÍTULO VIII DISPOSICIONES FINALES

Artículo 20. Situaciones no reguladas. Lo no dispuesto expresamente en el presente reglamento se aplicará el Acuerdo Gubernativo número 236-2006, de fecha 5 de mayo de 2006 "Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos"; el Acuerdo Gubernativo número 431-2007, de fecha 17 de septiembre de 2007, "Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental".

Artículo 21. Derogatoria. Se deroga el Acuerdo Gubernativo número 51-2010, de fecha 8 de febrero de 2010, que contiene el Reglamento de Vertidos para Cuerpos Receptores de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno.

Artículo 22. Vigencia. El presente reglamento empezará a regir ocho días después de su publicación en el Diario de Centro América.

COMUNÍQUESE

ÁLVARO COLOM CABALLEROS

**Luis Alberto Ferraté Felice
Ministro de Ambiente y Recursos Naturales**

C. Resultados del departamento de Bioquímica y Microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala campus Central



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

11 calle 15-79, Zona 15 V.H.III
Apartado Postal No. 82,01901
Guatemala, Guatemala, C.A.

PBX 2369 0791 al 95
Tels: 2364 0336 al 40
2364 0492 al 97
FAX (502) 2364 0212
www.uv.g.edu.gt

Guatemala, 8 de octubre del 2014

Ing. Sofía Gómez
Centro de estudios agrícolas y alimentarios
Asesora

Estimada Ingeniera Sofía Gómez:

Atentamente informo que se ha realizado el análisis microbiológico de la lechuga solicitado el día cinco de agosto del presente. Se describieron cinco muestras, que según nos indicaron correspondían a cinco tratamientos diferentes, y se determinó la presencia de Escherichia coli y coliformes totales. La información generada puede ir incluida en el trabajo de tesis "Evaluación del rendimiento y calidad de lechuga (Latuca sativa L.) Hidropónica utilizando agua regenerada como fuente de riego en comparación con soluciones hidropónicas comerciales", indicando que los análisis fueron realizados en el Departamento de Bioquímica y Microbiología.

A continuación se presentan los resultados de los análisis solicitados:

PRIMER MUESTREO

	RECuento DE COLIFORMES TOTALES	RECuento DE ESCHERICHIA COLI
TRATAMIENTO 1	1.0×10^5 UFC/g	< 100 UFC/g
TRATAMIENTO 4	4.5×10^5 UFC/g	100 UFC/g

Xucab



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

11 calle 15-79, Zona 15 V.H.III
Apartado Postal No. 82,01901
Guatemala, Guatemala, C.A.

PBX 2369 0791 al 95
Tels: 2364 0336 al 40
2364 0492 al 97
FAX (502) 2364 0212
www.uvg.edu.gt

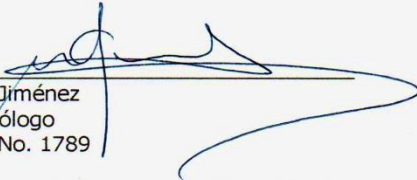
SEGUNDO MUESTREO

	Col totales	<u>Escherichia coli</u>
Tratamiento 1	2.1×10^5 UFC/g	< 100 UFC/g
Tratamiento 3	4.3×10^3 UFC/g	100 UFC/g
Tratamiento 4	1.6×10^6 UFC/g	< 100 UFC/g
Tratamiento 5	2.3×10^2 UFC/g	< 100 UFC/g

La presencia de Escherichia coli en un producto es indicativa de contaminación fecal, la cual podría ser causa de daño a la salud del consumidor.

Si necesita mayor información, por favor no dude en contactarnos. Esperamos colaborar en otros trabajos a futuro.

Cordialmente,

Vo. Bo. 
Lic. Víctor Jiménez
Química Biólogo
Colegiado No. 1789
Profesor
Departamento de Bioquímica y Microbiología



M. Sc. Lucía Nitsch
Directora
Departamento de Bioquímica y Microbiología
PBX (502) 23640336 al 40, Ext. 385, 301
lnitsch@uvg.edu.gt

D. Informe de análisis de aguas residuales de la planta de tratamiento del barrio San Antonio, Sololá



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL BARRIO SAN ANTONIO, SOLOLÁ

Responsable: Licda. Flor Mayarí Barreno Ortiz, *Unidad de Analítica Ambiental, Encargada de Laboratorio.*

Los entes generadores que descarguen aguas residuales al lago de Atitlán, deben cumplir según el REGLAMENTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN, ACUERDO GUBERNATIVO No. 12-2011, en su artículo 12, con los siguientes **límites máximos permisibles para las descargas a Ríos, Riachuelos, Quebradas y Zajones:**

Parámetros	Dimensiones	Límite máximo permisible*
Temperatura	Grados Celsius	TRC +/- 7°
Grasas y Aceites	Miligramos por litro	10
Materia Flotantes	Ausencia/Presencia	Ausente
Demanda Bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	50
Demanda Química de oxígeno	Miligramos por litro	100
Sólidos en Suspensión	Miligramos por litro	60
Nitrógeno Total	Miligramos por litro	10
Fósforo Total	Miligramos por litro	5
Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	6-9
Coliformes Fecales	Número más probable	$<1 \times 10^4$
Color Aparente	Unidades de color platino cobalto	300

* Valido a partir del 30 de Junio de 2013

A continuación se presentan los resultados del análisis físico, químico y microbiológico de la planta de tratamiento de aguas residuales del Barrio San Antonio, del municipio de Sololá, muestreada el 29 de abril de 2014.

Página 1 de 2

Calle del Frutal, 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A.
PBX: 00(502) 79616464 / 7762 1184
www.amsclae.gob.gt





Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

Cuadro 1. Identificación de las muestras

Fuente	Punto de Muestreo	ID de Muestras	Fecha/hora de captación	Técnica de preservación	Fecha/hora de recepción
PTAR Barrio San Antonio, Sololá	Entrada a PTAR	2.28, 2.40, 2.52	29.04.14/11:21 hrs	Refrigeración	29.04.14/16:15 hrs
PTAR Barrio San Antonio, Sololá	Salida de PTAR	2.29, 2.41, 2.53	29.04.14/11:31 hrs	Refrigeración	29.04.14/16:15 hrs

Fuente: DICA-AMSCLAE, 2014

Cuadro 2. Resultados de análisis de agua

No.	Parámetros	Unidades	Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#.12-2011)	Entrada PTAR	Salida de PTAR
1	Temperatura	Grados Celsius	TRC+/- 7*	21.3	20.9
2	Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	6-9	7.85	7.78
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	mg/L DBO ₅	50	434	67.6
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/L DQO	100	728.7	156.3
5	Fósforo Total	mg/L PT	5	6.1	7.6
6	Nitrógeno Total	mg/L NT	10	<0.5	>1.5
7	Color Aparente	Unidades Pt-Co	300	2450.6	589
8	Sólidos en Suspensión	mg/L	60	148.3	23
10	Coliformes Fecales	NMP/100ml	<1x10 ⁴	>2400	>2400

*Se reporta la temperatura de la muestra en grados Celsius

Fuente: DICA-AMSCLAE, 2014

El porcentaje de **remoción de DQO** fue del 78.55

El porcentaje de **remoción de DBO** fue del 84.42

Licda. Flor Barreno Ortiz
Encargada de Laboratorio

Vo.Bo. MSc. Elsa María Reyes
Jefe del Departamento de DICA

Página 2 de 2

Calle del Frutal, 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A.
PBX: 00(502) 79616464 / 7762 1184
www.amsclae.gob.gt





Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

Cuadro 1. Identificación de las muestras

Fuente	Punto de Muestreo	ID de Muestras	Fecha/hora de captación	Técnica de preservación	Fecha/hora de recepción
PTAR Barrio San Antonio, Sololá	Entrada a PTAR	2.28, 2.40, 2.52	29.04.14/11:21 hrs	Refrigeración	29.04.14/16:15 hrs
PTAR Barrio San Antonio, Sololá	Salida de PTAR	2.29, 2.41, 2.53	29.04.14/11:31 hrs	Refrigeración	29.04.14/16:15 hrs

Fuente: DICA-AMSCLAE, 2014

Cuadro 2. Resultados de análisis de agua

No.	Parámetros	Unidades	Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#.12-2011)	Entrada PTAR	Salida de PTAR
1	Temperatura	Grados Celsius	TRC+/- 7*	21.3	20.9
2	Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	6-9	7.85	7.78
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	mg/L DBO ₅	50	434	67.6
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/L DQO	100	728.7	156.3
5	Fósforo Total	mg/L PT	5	6.1	7.6
6	Nitrógeno Total	mg/L NT	10	<0.5	>15
7	Color Aparente	Unidades Pt-Co	300	2450.6	589
8	Sólidos en Suspensión	mg/L	60	148.3	23
10	Coliformes Fecales	NMP/100ml	<1x10 ⁴	>2400	>2400

*Se reporta la temperatura de la muestra en grados Celsius

Fuente: DICA-AMSCLAE, 2014

El porcentaje de **remoción de DQO** fue del 78.55

El porcentaje de **remoción de DBO** fue del 84.42

Licda. Flor Barreno Ortiz
Encargada de Laboratorio

Vo.Bo. MSc. Elsa María Reyes
Jefe del Departamento de DICA

Página 2 de 2

Calle del Frutal, 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A.
PBX: 00(502) 79616464 / 7762 1184
www.amsclae.gob.gt





Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL BARRIO SAN ANTONIO, SOLOLÁ

Responsable: Licda. Flor Mayarí Barreno Ortiz, *Unidad de Analítica Ambiental, Encargada de Laboratorio.*

Los entes generadores que descarguen aguas residuales al lago de Atitlán, deben cumplir según el REGLAMENTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN, ACUERDO GUBERNATIVO No. 12-2011, en su artículo 12, con los siguientes **límites máximos permisibles para las descargas a Ríos, Riachuelos, Quebradas y Zajones:**

Parámetros	Dimensiones	Límite máximo permisible*
Temperatura	Grados Celsius	TRC +/- 7°
Grasas y Aceites	Miligramos por litro	10
Materia Flotantes	Ausencia/Presencia	Ausente
Demanda Bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	50
Demanda Química de oxígeno	Miligramos por litro	100
Sólidos en Suspensión	Miligramos por litro	60
Nitrógeno Total	Miligramos por litro	10
Fósforo Total	Miligramos por litro	5
Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	6-9
Coliformes Fecales	Número más probable	<1x10 ⁴
Color Aparente	Unidades de color platino cobalto	300

* Valido a partir del 30 de Junio de 2013

A continuación se presentan los resultados del análisis físico, químico y microbiológico de la planta de tratamiento de aguas residuales del Barrio San Antonio, del municipio de Sololá, muestreada el 26 de agosto de 2014.

Página 1 de 2

Calle del Frutal, 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A.
PBX: 00(502) 79616464 / 7762 1184
www.amsclae.gob.gt





Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

Cuadro 1. Identificación de las muestras

Fuente	Punto de Muestreo	ID de Muestras	Fecha/hora de captación	Técnica de preservación	Fecha/hora de recepción
PTAR Barrio San Antonio, Sololá	Entrada a PTAR	2.99, 2.105, 2.111	26.08.14/11:21 hrs	Refrigeración	26.08.14/17:00 hrs
PTAR Barrio San Antonio, Sololá	Salida de PTAR	2.100, 2.106, 2.112	26.08.14/11:31 hrs	Refrigeración	26.08.14/17:00 hrs

Fuente: DICA-AMSCLAE, 2014

Cuadro 2. Resultados de análisis de agua

No.	Parámetros	Unidades	Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#.12-2011)	Entrada PTAR	Salida de PTAR
1	Temperatura	Grados Celsius	TRC+/- 7*	20.8	20.4
2	Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	6-9	7.5	7.38
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	mg/L DBO ₅	50	327	39.4
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/L DQO	100	663.66	104
5	Fósforo Total	mg/L PT	5	6.6	6.5
6	Nitrógeno Total	mg/L NT	10	11.6	>15
7	Color Aparente	Unidades Pt-Co	300	2324	567.33
8	Sólidos en Suspensión	mg/L	60	251.97	33.5
10	Coliformes Fecales	NMP/100ml	<1x10 ⁴	>2400	>2400

*Se reporta la temperatura de la muestra en grados Celsius

Fuente: DICA-AMSCLAE, 2014

El porcentaje de **remoción de DQO** fue del 84.33

El porcentaje de **remoción de DBO** fue del 87.95

Licda. Flor Barreno Ortiz
Encargada de Laboratorio

Vo.Bo. MSc. Elsa María Reyes
Jefe del Departamento de DICA

Página 2 de 2

Calle del Frutal, 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A.
PBX: 00(502) 79616464 / 7762 1184
www.amsclae.gob.gt

