

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**PASANTIA DE PRÁCTICA PROFESIONAL SOBRE:**

**“APOYO TÉCNICO EN EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS TRATADAS PARA RIEGO DE ZONAS VERDES EN LA EMPRESA SEGURIDAD ACTIVA S.A. DE C.V.”**

**POR:**

**OSCAR ALFREDO RIVAS ALBERTO**

**SAN SALVADOR, JULIO DEL 2024**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**PASANTIA DE PRÁCTICA PROFESIONAL SOBRE:**

**“APOYO TÉCNICO EN EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS TRATADAS PARA RIEGO DE ZONAS VERDES EN LA EMPRESA SEGURIDAD ACTIVA S.A. DE C.V.”**

**PRESENTADO POR:**

**OSCAR ALFREDO RIVAS ALBERTO**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TITUTLO DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**SAN SALVADOR, JULIO DEL 2024**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

ING. AGR. M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

**SECRETARIO:**

ING. AGR. MSC. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

---

ING. M.SC. JOSE MAURICIO TEJADA ASENSIO

**DOCENTE TUTOR**

---

ING. M.SC. JOSE MAURICIO TEJADA ASENSIO

**ASESOR EXTERNO**

---

LIC. DAVID ARMANDO PINEDA GONZALES

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO DEL DEPARTAMENTO**

---

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUIN REINA

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por haberme dado la sabiduría y fortaleza durante estos años de preparación para finalizar mi carrera.

Agradezco a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Sin su sacrificio, dedicación y paciencia no habría llegado hasta aquí.

A mis hermanos, amigos y compañeros de estudio, quienes me acompañaron en todo momento y compartieron conmigo alegrías, aventuras y frustraciones.

Agradezco también a mis asesores, por su invaluable orientación, apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus consejos y conocimientos han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A Seguridad Activa S.A. de C.V. y a sus empleados, por brindarme los recursos y el ambiente adecuado para llevar a cabo mis prácticas profesionales.

A todos ustedes, muchas gracias.

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	v
1 INTRODUCCION .....	1
2 INFORMACION DE LA UNIDAD PRODUCTIVA .....	2
2.1 Datos generales .....	2
2.1.1 Localización .....	2
2.1.2 Antecedentes .....	2
2.2 Actividades actuales .....	3
2.2.1 Función principal .....	3
3 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA EN SECTOR .....	4
3.1 Oportunidades de mejora .....	4
3.1.1 Descripción de las oportunidades.....	4
3.1.2 Valoración de los impactos .....	4
3.1.3 Beneficios ambientales.....	4
3.1.4 Beneficios económicos .....	4
4 METODOLOGÍA.....	5
4.1 Fase preliminar .....	5
4.2 Fase de campo.....	5
4.2.1 Implementación del riego con las aguas residuales tratadas.....	5
4.3 Presupuesto.....	8
5 RESULTADOS Y DISCUSION .....	9
5.1 Reactores Bilógicos Secuenciales (SBR) .....	9
5.1.1 Etapas del proceso de tratamiento:.....	9
5.2 Clasificación de reúso de aguas residuales tratadas .....	11
5.3 Parámetros para el reúso de agua residual establecidos por el MARN. ....	12
5.4 Reporte de resultados obtenidos en el suelo antes y después del reúso .....	14
6 CONCLUSIONES .....	16
7 RECOMENDACIONES .....	17
8 BIBLIOGRAFÍAS .....	18
9 ANEXOS .....	19

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la planta de Tratamiento Residencial. ....	2
Figura 2: Técnica del proceso del tratamiento mediante el sistema SBR. ....	3
Figura 3: Esquema de colocación del sistema de riego. ....	6
Figura 4: Planta de tratamiento de aguas residuales de reactor biológico. ....	9
Figura 5: Etapa de llenado de reactor. ....	10
Figura 6: Etapa de aireación. ....	10
Figura 7: Etapa de sedimentación. ....	11
Figura 8: Etapa de vaciado. ....	11

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Análisis FODA para el reúso de aguas residuales tratadas. ....	4
Cuadro 2: Presupuesto de materiales y equipo utilizado para la implementación del reúso de aguas residuales. ....	8
Cuadro 3: Parámetros para el reúso de agua residual tratada. ....	12
Cuadro 4: Resultado de análisis de Agua Residual Tratada. ....	13
Cuadro 5: Monitoreo de variables. ....	14
Cuadro 6: Reporte de análisis de suelo antes y después del riego. ....	14

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Comparación de parámetros para el reúso de aguas residuales tratadas. ....	13
---	----

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Reconocimiento de la planta de tratamiento de aguas. ....	19
Anexo 2: Observación de del agua tratada clarificada. ....	19
Anexo 3: Área delimitada para riego por goteo. ....	20
Anexo 4: Medición del área delimitada. ....	20
Anexo 5: Materiales utilizados en el sistema de riego por goteo. ....	21
Anexo 6: Colocación del barril de 55 gal. ....	21
Anexo 7: Colocación de laterales de riego. ....	22
Anexo 8: Establecimiento de líneas de laterales de riego. ....	22
Anexo 9: Llenado de barril para iniciar el riego. ....	23

Anexo 10: Verificación de funcionamiento de goteros. ....	23
Anexo 11: Limpieza y verificación del funcionamiento del sistema de riego con 15 días de instalación. ....	24
Anexo 12: Monitoreo de variables ambientales, olores y vectores. ....	24
Anexo 13: Verificación y funcionamiento del riego por goteo con 30 días de instalación. ....	25
Anexo 14: Desmontaje del sistema de riego. ....	25

## **RESUMEN**

El presente trabajo de Pasantía Profesional se desarrolló en la empresa Seguridad Activa S.A. de C.V.; en coordinación con la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, en el periodo de julio del año 2023 a abril del año 2024, con el objetivo de apoyar en el trabajo técnico del reúso de aguas residuales ordinarias tratadas generadas en un proyecto residencial. El reúso de agua residual tratada es una estrategia ambiental que busca mitigar la creciente demanda de agua mediante el tratamiento y la reutilización de aguas residuales.

Por lo mencionado anteriormente, el desarrollo de esta pasantía pretende determinar que, el reúso de agua residual tratada es una solución viable y sostenible para la gestión de los recursos hídricos, debido a que con la tecnología adecuada, regulaciones estrictas sobre parámetros de calidad según normativa y RTS, se puede transformar el desafío de la escasez de agua en una oportunidad para la conservación ambiental; por lo que este enfoque no solo protege los recursos naturales, sino que también promueve un uso eficiente y responsable del agua.

**Palabras claves:** agua, reúso, demanda, tecnología.

## **1 INTRODUCCION**

El Tratamiento de Aguas Residuales, se convierte hoy por hoy en algo imprescindible para todo núcleo urbano, por motivos de salud pública y la protección del medio ambiente. Son numerosos los usos que en diversas partes del mundo se dan a las aguas residuales, tales como riego agrícola (cultivos y semilleros), reutilización industrial (refrigeración, alimentación de calderas), usos urbanos no potables (riego de zonas verdes, lucha contra incendios, sanitarios, riego de calles), uso medio ambiental (caudales ecológicos, zonas húmedas) u otros (acuicultura, construcción, eliminación de polvo, limpieza de ganado) (Cuba 2016).

Si se tratan adecuadamente y se utilizan en forma segura, las aguas residuales domésticas constituyen una valiosa fuente tanto de agua como de nutrientes y en la agricultura puede generar grandes beneficios (UNESCO 2017).

Con base en lo anterior, Seguridad Activa S.A de C.V es una empresa con más de 10 años de experiencia en el área de seguridad, con el paso del tiempo se ha diversificado con la finalidad de ofrecer nuevos servicios como jardinería, mantenimiento de áreas verdes y tratamiento de aguas. Seguridad Activa se ha caracterizado por trabajar con los más altos estándares de calidad, contando con una extensa trayectoria respaldada por sus clientes.

La finalidad de esta pasantía profesional fue implementar un sistema de riego mediante el reúso de aguas residuales tratadas de manera que permita garantizar una alternativa para satisfacer la demanda de agua en diferentes sectores como el mantenimiento de áreas verdes y la agricultura, por tanto se buscará garantizar que su utilización no sólo mejore la fertilidad y la productividad del suelo, sino que conlleve a mantener la calidad de este recurso, garantizando que no ocasionen problemas ambientales, ni de salud pública. Dicho estudio se realizó en la planta de tratamientos de agua residuales perteneciente a un proyecto residencial de la empresa Seguridad Activa S.A. de C.V.

## 2 INFORMACION DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

### 2.1 Datos generales

#### 2.1.1 Localización

La Planta de Tratamiento del proyecto residencial, se ubica en el municipio de Nejapa, departamento de San Salvador (Fig.1); con una elevación de 456 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas 13°48'44" Latitud Norte, 89°14'08" Longitud Oeste.



**Figura 1:** Ubicación geográfica de la planta de Tratamiento Residencial.

#### 2.1.2 Antecedentes

Seguridad Activa SA de CV se fundó como una empresa de seguridad, la cual con el tiempo se fue diversificando para ser una empresa prestadora de diferentes servicios como seguridad, jardinería, mantenimiento de áreas verdes y tratamiento de aguas. Con el tiempo el tratamiento de aguas residuales ha sido de mucha importancia para el medio ambiente, en la cual Seguridad Activa ha asumido un papel importante con personal capacitado en el mantenimiento de los proyectos habitacionales y el tratamiento de aguas residuales que se producen dentro de estos.

Hoy en día la empresa busca innovar y reducir la demanda de agua para riego de áreas verdes, mediante el reúso de agua residual ordinaria tratada mediante pruebas con sistemas de riego con el fin de evaluar la factibilidad que puede generar la implementación de esta alternativa.

## 2.2 Actividades actuales

### 2.2.1 Función principal

- ✓ Tratamiento de aguas residuales ordinarias que se generan en el proyecto residencial, mediante un sistema con Reactores Biológicos Secuenciales (SBR).

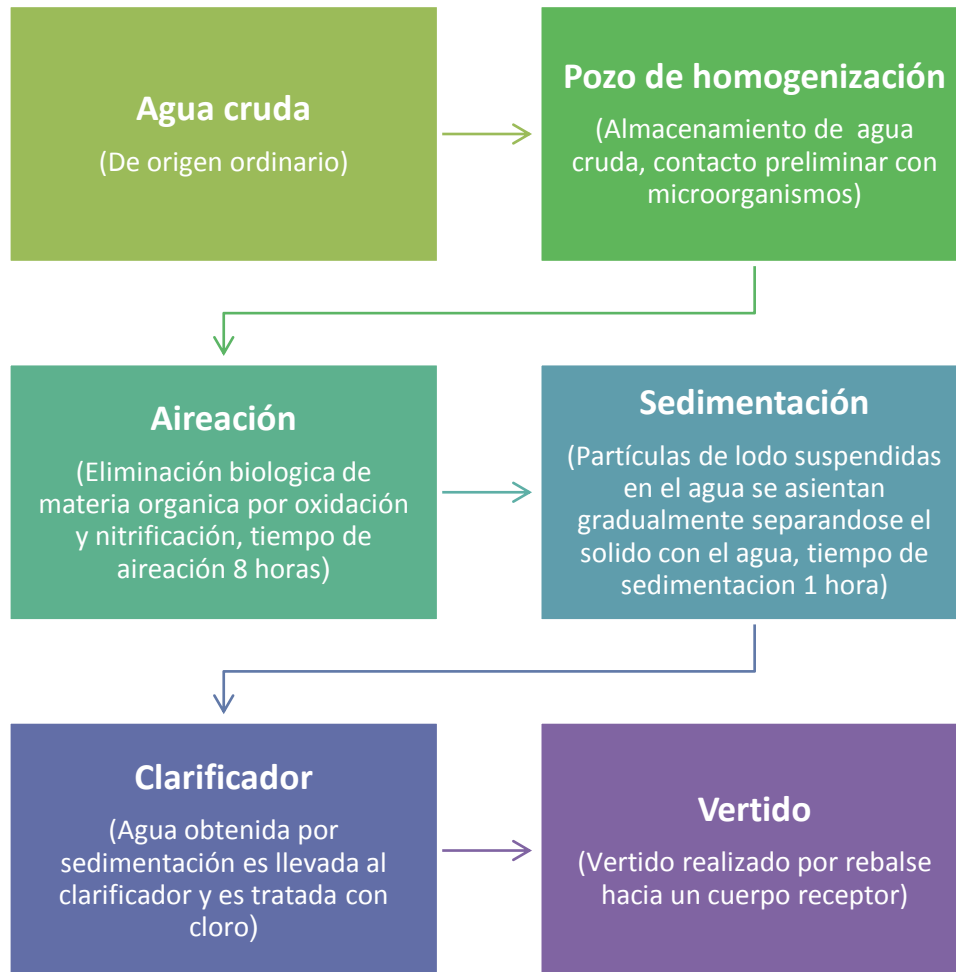


Figura 2: Técnica del proceso del tratamiento mediante el sistema SBR. (Pineda, 2024)

### 3 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA EN SECTOR

**Cuadro 1: Análisis FODA para el reúso de aguas residuales tratadas.**

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Buenas condiciones económicas.</li> <li>✓ Empresa sólida.</li> <li>✓ Personal capacitado en el área</li> <li>✓ Maquinaria y equipo</li> <li>✓ Bodegas para almacenamiento</li> <li>✓ PTAR cumple con los parámetros exigidos por RTS y lineamiento del MARN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reducción de uso de agua potable para riego.</li> <li>➤ Aprovechamiento de aguas residuales.</li> <li>➤ Oferta permanente de agua durante todo el año.</li> <li>➤ Disponibilidad de material de residuo durante todo el año.</li> <li>➤ Protección del medio ambiente.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Poco aprovechamiento de agua residual tratada</li> <li>❖ No se cuenta con laboratorio para uso interno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas incontroladas de sustancias peligrosas en el agua por parte de usuarios.</li> <li>• Aumento de la carga contaminante.</li> </ul>

#### 3.1 Oportunidades de mejora

##### 3.1.1 Descripción de las oportunidades

La implementación de sistemas de reutilización de agua residual tratada, ofrece múltiples beneficios para la conservación del medio ambiente. Al optimizar el uso de recursos hídricos, cumplir con regulaciones ambientales, mitigar el estrés hídrico y promover la responsabilidad social empresarial, las industrias pueden desempeñar un papel clave en la construcción de un futuro más sostenible. La adopción de estas prácticas no solo es una decisión inteligente desde el punto de vista económico, sino también una inversión en la protección del medio ambiente.

##### 3.1.2 Valoración de los impactos

Mediante el reúso de aguas residuales tratadas se obtienen beneficios ambientales y económicos. Esta alternativa nos permite disminuir drásticamente la dependencia a fuentes externas de agua, lo que nos permite conservar los recursos hídricos en nuestro medio.

##### 3.1.3 Beneficios ambientales

La reutilización del agua residual nos permite un uso más eficiente de los recursos hídricos, al reciclar y tratar adecuadamente esta agua se reduce la descarga de agua en cuerpos de agua naturales, lo que minimiza el impacto negativo sobre el medio ambiente y la salud pública. Esto favorece al cumplimiento de las regulaciones medioambientales que existen.

##### 3.1.4 Beneficios económicos

Al reciclar el agua tratada, puede aprovecharse su venta debido a que existen muchas actividades en las cuales esta puede ser utilizada, ya sea desde el rubro agrícola, hasta el rubro de la construcción e industrias.

## **4 METODOLOGÍA**

### **4.1 Fase preliminar**

Para dar inicio al proyecto, primero se realizaron una serie de visitas a la planta de tratamiento de aguas residuales del proyecto residencial, en las cuales estuvo presente el docente asesor Ing. Mauricio Tejada y el encargado de la planta de tratamiento el Lic. Carlos Chicas. Dichas visitas tuvieron lugar para conocer la planta de tratamiento y el funcionamiento del proceso que se realiza para tratar el agua residual que se genera dentro del proyecto residencial.

En las visitas se determinó la implementación de un sistema de riego por goteo con el cual se pueda evaluar el reúso de aguas residuales tratadas como alternativa a la demanda de agua presente para el riego y mantenimiento de áreas verdes que se encuentran dentro del proyecto residencial.

Posteriormente, se investigó sobre los lineamientos técnicos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada, conocer la clasificación del propósito que se le dará al reúso y los requisitos que el agua debe cumplir según el Reglamento Técnico Salvadoreño y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Se investigó bibliográficamente acerca del sistema de tratamiento de aguas residuales que el proyecto residencial emplea, para poder caracterizar el sistema de tratamiento, identificar cada uno de sus componentes y determinar las funciones que se realizan en cada una de sus etapas.

### **4.2 Fase de campo**

#### **4.2.1 Implementación del riego con las aguas residuales tratadas.**

##### **Materiales a utilizar:**

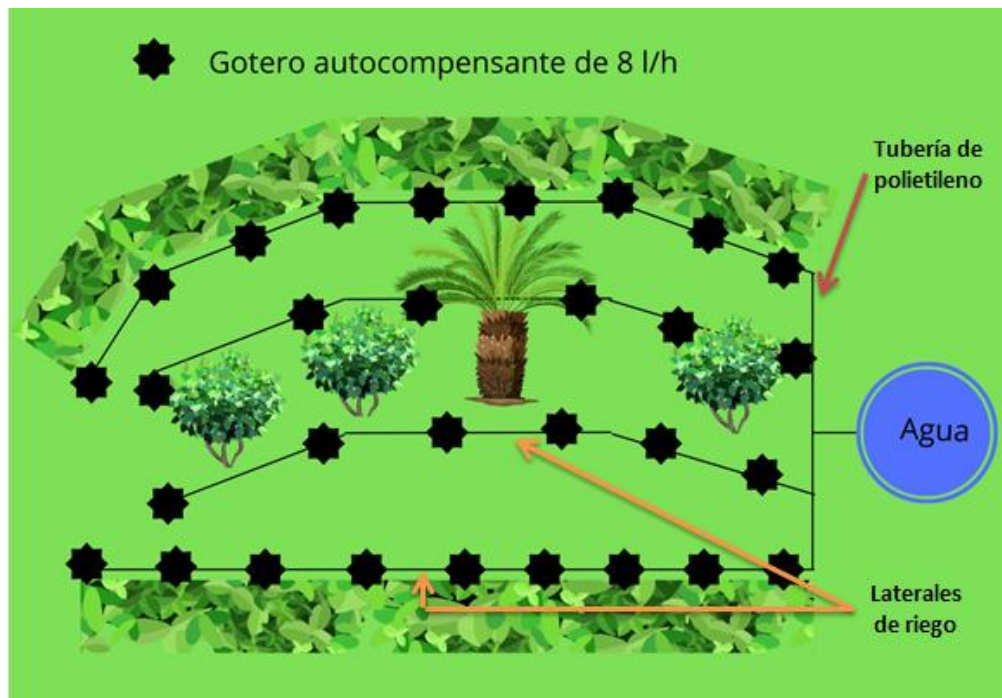
- ✓ 25 mts de tubería de riego de polietileno de 16 mm
- ✓ 4 TEE de 16 mm
- ✓ 30 goteros autocompensado de 8 L/h
- ✓ 8 uniones de 16 mm
- ✓ 4 codos de 16 mm
- ✓ Barril plástico de 55 gal
- ✓ Válvula de ½ pulg
- ✓ Terminal plástico hembra para manguera de ½ pulg
- ✓ Abrazadera para manguera
- ✓ Adaptador pvc para tanque con doble rosca 1 ½ pulga

##### **Montaje del sistema de riego**

- ✓ Se delimitó el área en m<sup>2</sup> donde se colocó el sistema de riego.
- ✓ Compra de materiales a utilizar y movilización de materias disponibles proporcionados por la empresa y la universidad
- ✓ Adaptación y colocación del barril para poder delimitar las líneas donde se ubicaron los laterales de riego.
- ✓ Colocación de laterales de riego

- ✓ Colocación de goteros autocompensado con una separación de 0.70 mts entre cada gotero.
- ✓ Calibración del sistema de riego
- ✓ Inicio del funcionamiento del sistema de riego por goteo por un periodo de un mes.

**Figura 3:** Esquema de colocación del sistema de riego.



#### Calibración del sistema de riego

- ✓ **Calculo de caudal de agua por gotero**

#### Datos:

V: 5 ml ≈ 0.005 lt

T: 10.79 seg ≈ 0.00298h

Q: ?

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \frac{0.005 \text{ l}}{0.00298 \text{ h}}$$

$$Q = 1.7 \text{ l/h}$$

### **Toma de muestra y monitoreo**

- ✓ El muestreo del suelo se realizó al inicio y al final de la prueba, esto con el fin de llevar un control enfocado a las características fisicoquímicas y microbiológicas presentes en el suelo al iniciar el proceso y cuando se finalizaron las pruebas de riego mediante el reúso de aguas residuales tratadas.
- ✓ Durante el mes de prueba de riego, se efectuó un monitoreo semanal de variables ambientales que puedan observarse y sentirse, como olores, apariencia de las plantas, suelo y posibles vectores de contaminación.
- ✓ Para el análisis del suelo se tomaron muestras en diferentes puntos, luego se homogenizaron todas las porciones de suelo recolectadas para obtener una sola muestra; dichas muestras fueron llevadas al laboratorio respectivo para su análisis.

### 4.3 Presupuesto

**Cuadro 2:** Presupuesto de materiales y equipo utilizado para la implementación del reúso de aguas residuales.

Material/Equipo	Cantidad	Proveedor	Presentación	Costo Unitario	Subtotal
Barril plástico de 55 gal	1	Tanques y barriles Sf	unidad	\$30.00	\$30.00
Tubería de polietileno 16 mm	25	CORIASA	metro	\$1.40	\$35.00
Gotero autocompensado	30	CORIASA	unidad	\$0.24	\$7.20
Codo de polietileno	4	CORIASA	unidad	\$0.24	\$0.96
TEE de polietileno	4	CORIASA	unidad	\$0.39	\$1.56
Unión polietileno	8	CORIASA	unidad	\$0.13	\$1.04
Válvula de ½ pulg		Almacenes Vidrí	unidad	\$2.95	\$2.95
Terminal metálico hembra ½ pulg		Almacenes Vidrí	unidad	\$0.75	\$0.75
Abrazadera para manguera		Almacenes Vidrí	unidad	\$0.37	\$0.37
Adaptador pvc para tanque 1 ½ pulg		Ferretería Freund	unidad	\$7.25	\$7.25
Análisis para determinación fisicoquímica y microbiológica	2	CCCI	-	\$233.99	\$467.98
<b>TOTAL</b>					<b>\$555.06</b>

\*El presupuesto puede variar de acuerdo a la disponibilidad de materiales dentro de la empresa.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Reactores Bilógicos Secuenciales (SBR)



**Figura 4:** Planta de tratamiento de aguas residuales de reactor biológico.

Las depuradoras con un proceso biológico de tipo SBR son idóneas para tratar aguas residuales con un caudal y régimen de vertido discontinuo y/o que presenta variaciones importantes de carga contaminante.

En comparación con los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales utilizan varios tanques, cada uno con su función determinada de reacción y separación de la fracción sólida o lodos, operando simultáneamente y en régimen continuo; los sistemas SBR pueden realizar estas tareas secuencialmente en un solo reactor que atraviesa diferentes fases en el tiempo.

El proceso completo de eliminación de materias orgánicas y nutrientes, tiene lugar en las siguientes fases diferenciadas: llenado o alimentación del reactor, aireación, sedimentación y descarga. El sistema emplea generalmente dos o más reactores trabajando en paralelo, de esta forma, se puede diseñar un ciclo combinando de las fases en los reactores para poder tratar todo el caudal de agua residual y obtener un vertido constante (AguaSigma 2021).

#### 5.1.1 Etapas del proceso de tratamiento:

##### 1. Llenado: introducción del agua residual dentro del reactor.

El agua residual que llega de forma continua es retenida primeramente en un tanque de homogeneización antes de ser conducida a uno de los reactores SBR durante su fase de llenado.

Esta primera aportación al reactor se realiza sin mezcla ni aireación. El agua se introduce en un punto cercano al fondo del tanque lo que provoca que el agua atraviese la capa de fango en un contacto preliminar con los microorganismos y se mezcle de forma homogénea.

En caso de que se produzcan incrementos detectados de fosfatos en el agua residual, la fase de llenado se subdivide en una fase corta sin aireación y otra fase aireada. En la fase sin aireación prevalecen las condiciones anaeróbicas lo que permite la eliminación biológica del fosfato.

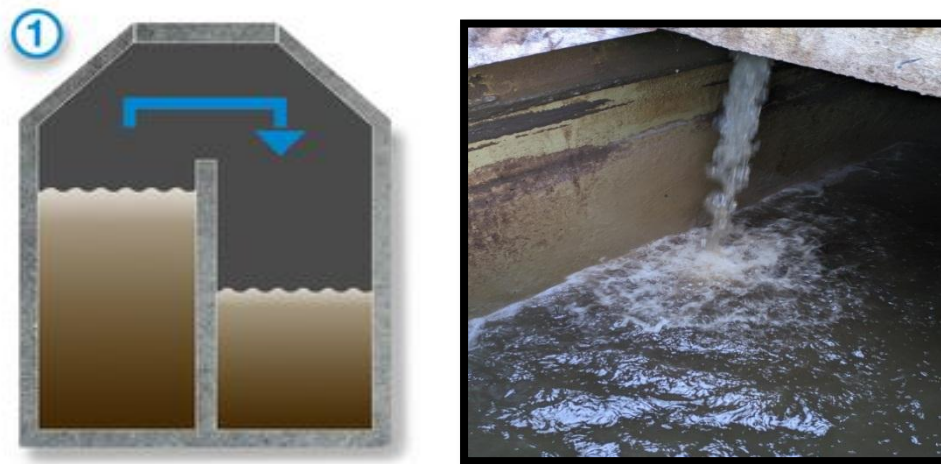


Figura 5: Etapa de llenado de reactor.

## 2. Aireación: fase aeróbica, eliminación biológica de materia orgánica.

Una vez se ha llenado el reactor, comienza la fase de aireación que permite la eliminación biológica de materia orgánica por oxidación y la nitrificación mediante la cual el amonio  $\text{NH}_4^+$  es oxidado a nitrato  $\text{NO}_3^-$ .

La duración de la fase de aireación depende de la composición del agua residual y de los niveles de eliminación de contaminantes requeridos.

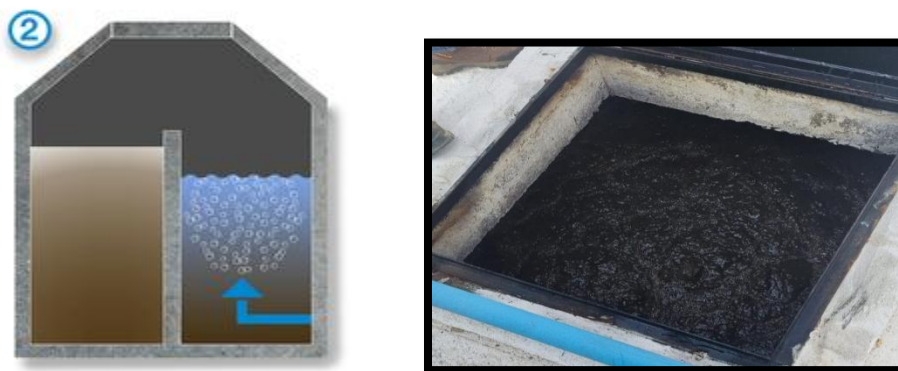


Figura 6: Etapa de aireación.

### 3. Sedimentación: período sin agitación ni aireación.

Después de las anteriores fases de reacción, se lleva a cabo la sedimentación del lodo y su separación de la fase clarificada. La fase clarificada ocupa alrededor de un tercio superior del volumen del reactor. La sedimentación tiene lugar en condiciones totalmente estáticas: ausencia de aireación y de agitación.

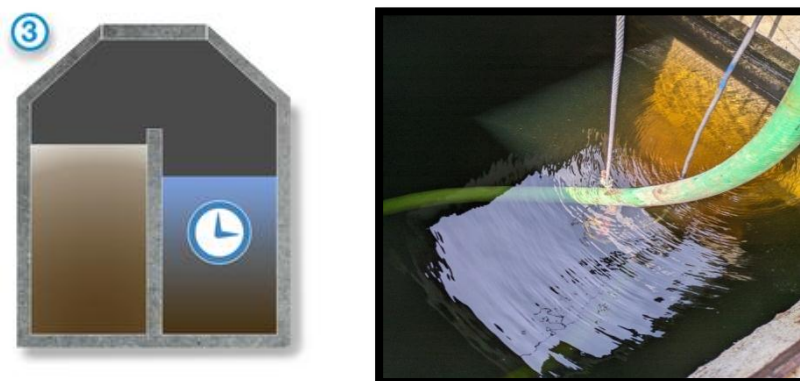


Figura 7: Etapa de sedimentación.

### 4. Descarga (vaciado): extracción de parte del efluente clarificado

La última fase del ciclo de un reactor SBR es la descarga del agua clarificada de la parte superior del reactor. Una vez efectuada la evacuación de una cantidad de agua determinada, se detiene el funcionamiento y el fango en exceso puede ser extraído del fondo del reactor, el cual contiene una muy elevada concentración de sólidos (AguaSigma 2021).

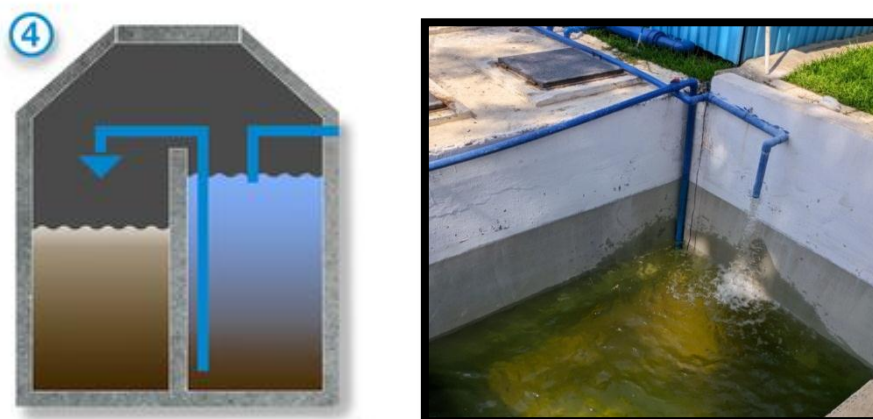


Figura 8: Etapa de vaciado.

## 5.2 Clasificación de reúso de aguas residuales tratadas

**Tipo 1**, utilización en actividades con contacto directo al público: fuentes ornamentales, lavado de automóviles, combate de incendios, limpieza de calles y otros con similares accesos o exposición al agua.

**Tipo 2**, utilización en otras actividades similares con contacto indirecto al público: agua para cisterna de inodoros y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.

**Tipo 3**, riego agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta o su consumo: riego superficial o por aspersión de cualquier cultivo comestible que no se procese previo a su venta, incluyendo aquellos que son consumidos crudos.

**Tipo 4**, riego agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta o su consumo: para riego de cultivos, que previo a su venta al público, reciben procesamiento físico o químico necesario.

**Tipo 5**, riego agrícola en cultivos no alimenticios y áreas verdes: riego de pastos para ganado, barrajes, cultivos de fibras y semillas, viveros ornamentales, biomasa vegetal, silvicultura, riego de zonas verdes recreativas en áreas residenciales, riego en áreas verdes de protección, zonas verdes, arriates en vías de circulación, patios de centros educativos, campos deportivos, parques, cementerios, cultivo de césped, otras plantaciones forestales y cultivos no alimenticios (MARN 2019).

### 5.3 Parámetros para el reúso de agua residual establecidos por el MARN.

**Cuadro 3:** Parámetros para el reúso de agua residual tratada. (MARN, 2019)

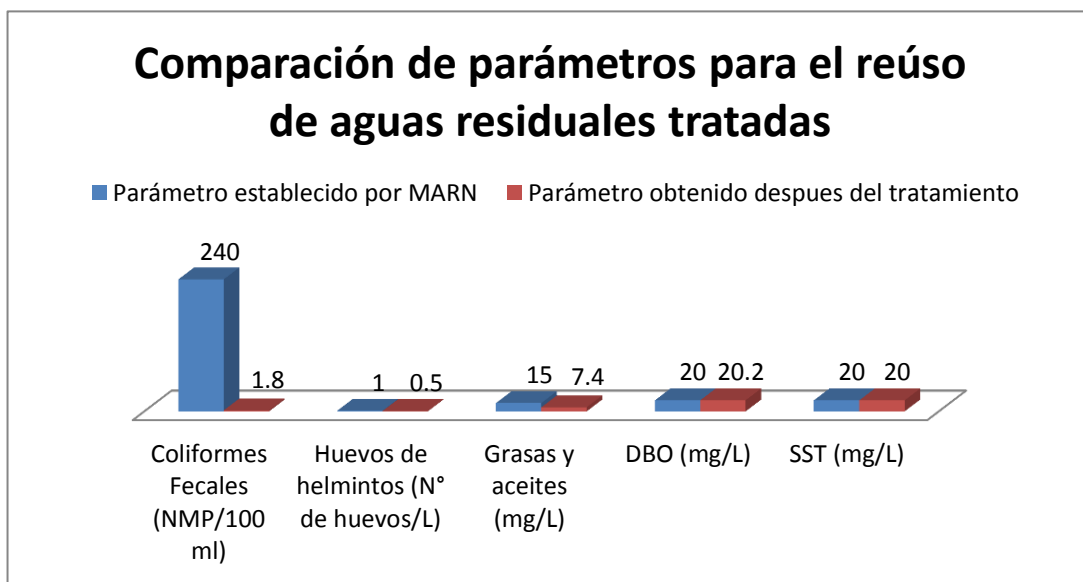
Actividad	Tipo	Definición	Parámetro				
			Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	Huevos de Helmintos (N° de huevos/L)	Grasas y aceites (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)
Contacto directo al público	5	Riego Agrícola en cultivos no alimenticios y áreas verdes	240	<=1	15	20	20

**Análisis:** Tomando en cuenta los tipos de agua establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos, la clasificación del tipo de reúso sería para riego agrícola en cultivos no alimenticios y áreas verdes, por tanto se toman los parámetros para evaluar la calidad del agua que se obtiene después del tratamiento y determinar si el agua es apta para el reúso.

**Cuadro 4:** Resultado de análisis de Agua Residual Tratada. (LECC, 2023)

CUADRO DE ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA			
DETERMINACION	ESPECIFICACION	RESULTADO	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno	<=60	20.2	mg/L
Solidos Suspendidos Totales	<=60	20.0	mg/L
Aceites y grasas	<=20	7.4	mg/L
Huevos de Helmintos Huevo/litro	<=1	0.5	N° huevos/L
Recuento de coliformes fecales	Reportar	1.8	NMP/100 mL

**Gráfico 1:** Comparación de parámetros para el reúso de aguas residuales tratadas.



**Análisis:** Se puede observar mediante los resultados del análisis de laboratorio del agua residual obtenida después del tratamiento que en comparación con los parámetros exigidos por los lineamientos del MARN, el agua residual es apta para ser utilizada para el reúso de aguas residuales tratadas como alternativa a la demanda de agua.

**Cuadro 5:** Monitoreo de variables.

<b>Monitoreo de presencia de variables</b>				
<b>Variable</b>	<b>Semana 1</b>	<b>Semana 2</b>	<b>Semana 3</b>	<b>Semana 4</b>
Malos olores	No se perciben	No se perciben	No se perciben	No se perciben
Apariencia del suelo	Normal	Normal	Normal	Normal
Apariencia de las plantas	Coloración normal	Coloración normal	Coloración normal	Coloración normal
Vectores de contaminación	No se observan	No se observan	No se observan	No se observan

**Análisis:** Dentro de las cuatro semanas del funcionamiento del sistema de riego, no se presentó ninguna variación que pudiera afectar la apariencia y composición del suelo y plantas, todo permaneció en su estado normal.

#### 5.4 Reporte de resultados obtenidos en el suelo antes y después del reúso

**Cuadro 6:** Reporte de análisis de suelo antes y después del riego.

<b>CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS</b>		
<b>DETERMINACION FISICOQUIMICA Y MICROBIOLÓGICA</b>	<b>RESULTADO MUESTRA INICIAL</b>	<b>RESULTADO MUESTRA FINAL</b>
Coliformes Fecales NMP/g	70	1.4
<i>Eschericia coli</i> NMP/g	<1.8	<1.8
Huevos de Helmintos Huevo /gramo	10,000	No se observan
Vermiformes Viales/gramo	No se observan	No se observan
Potasio mg/kg	188	48
Fosforo mg/kg	<0.5	<0.5
Nitrógeno total mg/kg	1,141	1,360

**Fuente:** Informe de Análisis de suelo, CCCI (16/03/2024 – 30/04/2024).

**Análisis:** Se ha observado que los resultados de los análisis realizados al suelo al iniciar y al finalizar las pruebas. En el resultado de la muestra inicial se observa actividad microbiológica en el suelo referente a coliformes fecales y huevos de helmintos; caso contrario al resultado de la muestra final, donde la actividad microbiológica disminuyó significativamente, esto en gran parte por la presencia de microorganismos presentes en el agua que ayudan a la reducción de la carga contaminante. En caso de la determinación fisicoquímica del suelo, se observa que siempre mantiene presencia de los tres macronutrientes importantes para el suelo y el mantenimiento de áreas verdes. Por ello, el reúso de aguas residuales tratadas es una alternativa fundamental con respecto a la demanda de agua para el riego y mantenimiento de áreas verdes ya que no tiene impacto negativo en el suelo.

## 6 CONCLUSIONES

- El reúso de aguas residuales tratadas es una alternativa clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos; esto permite conservar las fuentes de agua naturales, debido a que mediante el reúso del agua se puede obtener una amplia variedad de propósitos con los cuales se puede satisfacer gran parte de la demanda de agua existente.
- Reusar las aguas residuales tratadas es un gran desafío, ya que la percepción pública referente a la eliminación de patógenos y contaminantes químicos presentes en dichas aguas puede ser un obstáculo significativo para esta alternativa, por ello es importante garantizar que el agua residual tratada cumpla con los parámetros de calidad establecidos según el lineamiento del MARN.
- El tratamiento y reúso de aguas residuales puede implicar costos iniciales elevados, sin embargo, a lo largo del tiempo puede resultar una opción económicamente viable y beneficiosa, especialmente en regiones, donde el agua es un recurso limitado.

## **7 RECOMENDACIONES**

- ✓ Realizar análisis continuos de las aguas residuales para identificar los contaminantes presentes y determinar los parámetros de calidad de agua específicos para cada tipo de reúso (Agrícola, industrial, construcción, etc.)
- ✓ Desarrollar capacitaciones donde se promueva el reúso de aguas residuales tratadas para incentivar a la población en general y a las grandes empresas a considerar los beneficios ambientales y económicos que conllevan al implementar esta alternativa para la demanda de agua existente.
- ✓ Orientar a las personas sobre medidas de seguridad necesarias para el manejo de las aguas residuales tratadas y regirse bajo los lineamientos del MARN para identificar el tipo de explotación que se le dará al agua tratada para evitar riesgos potenciales de contaminación.

## 8 BIBLIOGRAFÍAS

AguaSigma. 2021. Optimización de procesos SBR: incorporación de la tecnología FBR como parte de un proceso SBR. PROCESO SIGMA SBR – FBR. (En línea, sitio web). Consultado 13 may. 2024. Disponible en: <https://aguasigma.com/es/articulos-tecnicos/fbr-sbr-aguas-residuales-tratamiento-combinado#toc-7>

AQUALIMPIA. 2023. SISTEMAS SBR, PLANTAS COMPACTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES. (En línea, sitio web). Consultado 03 ago. 2023. Disponible en: <https://www.aqualimpia.com/ptar-1/sistemas-sbr/>

Cuba, F. 2016. Implementación del Sistema de reutilización de las aguas residuales. (En línea, PDF). Consultado 19 may. 2023. Disponible en: [https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=13720](https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=13720)

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2019. Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada. (PDF, en línea). Consultado 03 ene. 2024. Disponible en: <https://omr.gob.sv/wp-content/uploads/2021/07/Resumen-EIR-MARN-Lineamientos-de-Reuso-de-Agua-Residual-Tratada-19-07-2021.pdf>

OSARTEC. 2019. Agua. Aguas Residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales. RTS 13.05.01:18. San Salvador, El Salvador.

Pineda, D. 16 ago. 2023. Diagnóstico empresarial de Seguridad Activa SA de CV (Entrevista). Nejapa, El Salvador.

## 9 ANEXOS



**Anexo 1:** Reconocimiento de la planta de tratamiento de aguas.



**Anexo 2:** Observación de del agua tratada clarificada.



**Anexo 3:** Área delimitada para riego por goteo.



**Anexo 4:** Medición del área delimitada.



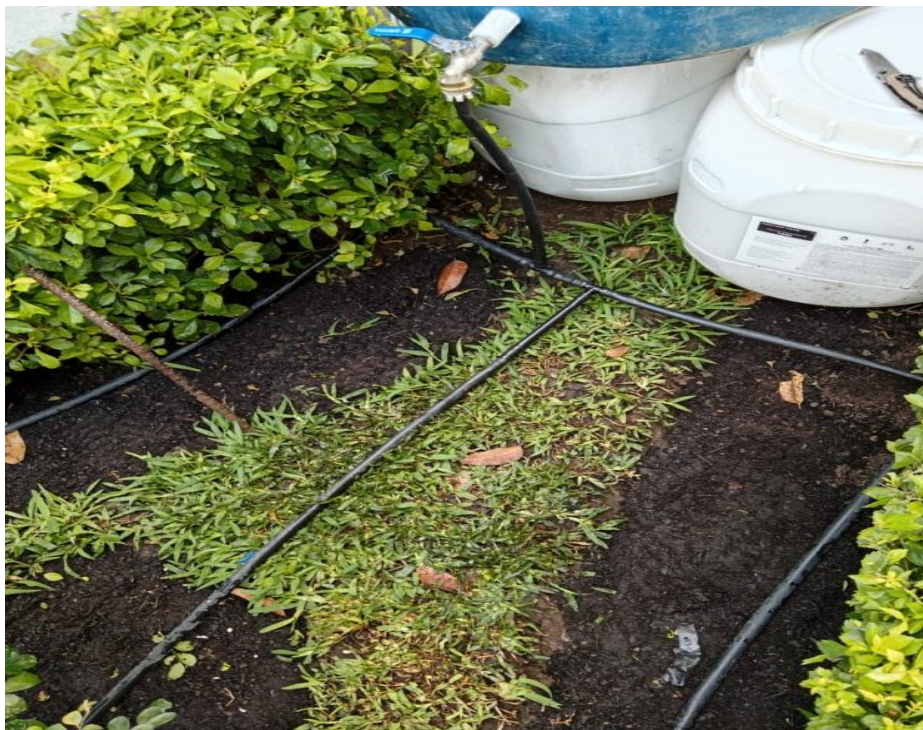
**Anexo 5:** Materiales utilizados en el sistema de riego por goteo.



**Anexo 6:** Colocación del barril de 55 gal.



**Anexo 7:** Colocación de laterales de riego.



**Anexo 8:** Establecimiento de líneas de laterales de riego.



**Anexo 9:** Llenado de barril para iniciar el riego.



**Anexo 10:** Verificación de funcionamiento de goteros.



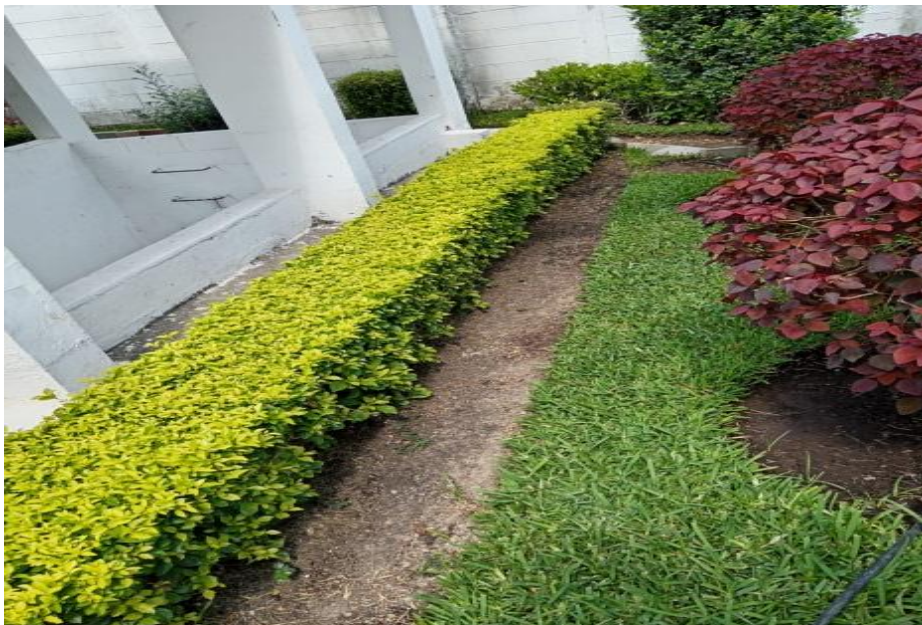
**Anexo 11:** Limpieza y verificación del funcionamiento del sistema de riego con 15 días de instalación.



**Anexo 12:** Monitoreo de variables ambientales, olores y vectores.



**Anexo 13:** Verificación y funcionamiento del riego por goteo con 30 días de instalación.



**Anexo 14:** Desmontaje del sistema de riego.