

**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**



**Tesina:**

**“Recuperación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y Evaluación de la eficacia en el tratamiento de aguas grises en la Finca Flor de Lis, Santa Ana.”**

**Por:**

**Guillermo Antonio Alfaro Ramírez**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023**

**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**  
**Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente**



**Tesina:**

**“Recuperación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y Evaluación de la eficacia en el tratamiento de aguas grises en la Finca Flor de Lis, Santa Ana.”**

**Por:**

**Guillermo Antonio Alfaro Ramírez**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023**

Esta tesina fue realizada bajo la dirección del comité de Investigación indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el Título de

**Ingeniero Agroindustrial**

**Comité de Tesina**

---

Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada Asensio  
Tutor de tesina

---

Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada Asensio  
Jefe Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

---

Ing. Agr. MAECE Nelson Bernabé Granados Alvarado  
Coordinador de Procesos de Graduación  
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

## **1. DEDICATORIA**

Dedico esta tesina a mis padres quienes me han apoyado en todo momento a pesar de las dificultades y obstáculos que se han presentado a lo largo de este viaje dentro de mi formación profesional y me han permitido así culminar con éxito mis estudios Universitarios.

A mis docentes de la Universidad de El Salvador, por haber compartido con mi persona sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional, de manera especial, al Ing. Mauricio Tejada, por su orientación dentro de mi formación profesional y durante la elaboración de esta tesina para poder optar al título de Ingeniero Agroindustrial.

A mis amigos quienes con su apoyo y consejos me han servido de guía para tomar las decisiones más acertadas durante todo este proceso.

A mis compañeros y amigos de la universidad, quienes de manera sincera me brindan su apoyo incondicional los cuales me han servido para poder solventar los proyectos y terminarlos así permitiéndome avanzar dentro de mis estudios y culminar de forma satisfactoria mi carrera universitaria.

## **2. AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por brindarme la oportunidad de poder realizar mis estudios universitarios y a la vez suplir las necesidades para el desarrollo de mis académicas dentro de mi formación profesional, quienes con su esfuerzo me han ayudado económica y emocionalmente para afrontar lo transcurrido en mi vida hasta el momento.

A mis amigos que siempre han estado para brindarme su apoyo y sus consejos los cuales han servido como guía para tomar decisiones correctas a lo largo de mi trayectoria universitaria.

A mis compañeros del curso de especialización de Sistemas Agroecológicos los cuales durante las diferentes salidas de campo hacia el lugar de desarrollo del proyecto me brindaron su ayuda en todas las actividades que se realizaron.

A todas las personas con las cuales he logrado coincidir y las cuales me han brindado su consejo y su guía, de manera especial, a mis docentes de la Universidad de El Salvador los cuales siempre me brindaron su apoyo y conocimientos necesarios para poder desarrollarme como un buen ser humano y excelente profesional y así brindar mi ayuda a la comunidad en general.

<b>3. INDICE GENERAL</b>	
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
<b>III. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Objetivo general</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Objetivos específicos</b>	<b>3</b>
<b>IV. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>4</b>
<b>4.1 Tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas grises por parte de La Asociación de Desarrollo Económico Social (ADES, Guacotectic, Cabañas) y Santa Marta.</b>	<b>4</b>
<b>4.2 Relación hombre, agua residual y medio ambiente en El Salvador.</b>	<b>5</b>
<b>4.3 Otros países</b>	<b>5</b>
4.3.1 Costa Rica	5
4.3.2 Colombia	6
4.3.3 Alemania	6
4.3.4 Canadá	6
<b>4.4 Experiencias e importancia de tratar el agua residual.</b>	<b>7</b>
<b>4.5 Experiencias con tratamiento agroecológicos en LATAM</b>	<b>7</b>
<b>4.6 Experiencias e importancia de tratar el agua residual.</b>	<b>7</b>
<b>V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>9</b>
<b>5.1 Aguas residuales</b>	<b>9</b>
<b>5.2 Clasificación del agua residual</b>	<b>9</b>
5.2.1 Aguas Negras:	9
5.2.2 Aguas Grises:	10
<b>5.3 Composición del agua residual</b>	<b>11</b>
<b>5.4 Diferencia de las aguas grises con las aguas residuales domésticas</b>	<b>11</b>
<b>5.5 Características de las aguas grises</b>	<b>12</b>
5.5.1 Características físicas	12
5.5.2 Características químicas	14
5.5.3 Características biológicas	16
<b>5.6 Tratamiento de aguas grises</b>	<b>16</b>
5.6.1 Concepto de tratamiento de aguas grises	16
5.6.2 ¿Qué es el tratamiento de aguas grises?	16

5.6.3	Tratamiento de aguas grises .....	17
<b>5.7</b>	<b>mecanismos de depuración de los humedales artificiales.....</b>	<b>27</b>
<b>5.8</b>	<b>Legislación a cumplir para aguas residuales en el salvador .....</b>	<b>28</b>
5.8.1	Límites permisibles de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a medio receptor	29
<b>VI.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Ubicación del estudio .....</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>Metodología de oficina.....</b>	<b>30</b>
<b>6.3</b>	<b>Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.....</b>	<b>31</b>
<b>6.4</b>	<b>Metodología de campo.....</b>	<b>34</b>
6.4.1	Fase 1 Observación y Evaluación.....	34
6.4.2	Fase 2 Actividades de Recuperación.....	34
6.4.3	Fase 3 Sistema de Monitoreo.....	36
6.4.4	Fase 4 Recolección de datos y análisis de laboratorio .....	37
<b>VII.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
<b>7.1</b>	<b>Fase 1 Evaluación.....</b>	<b>38</b>
<b>7.2</b>	<b>Fase 2 Recuperación.....</b>	<b>42</b>
<b>7.3</b>	<b>Fase 3 Monitoreo.....</b>	<b>43</b>
<b>7.4</b>	<b>Análisis de laboratorio.....</b>	<b>48</b>
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>IX.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>51</b>
<b>X.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

#### **4. INDICE DE CUADROS**

<u>Cuadro 1. Composición general de las aguas grises.</u> .....	11
---	----

#### **5. INDICE DE FIGURAS**

<u>Figura 1. Biojardinera utilizada en Santa Marta.....</u>	4
<u>Figura 2. Biojardinera utilizada en ADES (San Marcos).....</u>	4
<u>Figura 3. Origen de aguas residuales.....</u>	10
<u>Figura 4. Clasificación de las partículas sólidas contenidas en las aguas grises, según su diámetro.</u> .....	13

<u>Figura 5. fotografía de una reja de desbaste de limpieza manual</u> .....	18
<u>Figura 6. Tanque de sedimentación primaria rectangular</u> .....	19
<u>Figura 7. Tipos de humedales artificiales</u> .....	23
<u>Figura 8. Tipos de humedales artificiales</u> .....	24
<u>Figura 9. Mapa de ubicación de la Finca Flor de Lis, Santa Ana</u> .....	30
<u>Figura 10. Sonda Multiparamétrica para análisis de aguas residuales.</u> .....	31
<u>Figura 11. Depósitos utilizados para la recolección de muestras.</u> .....	32
<u>Figura 12. Diagrama de las estructuras que conforman el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales implementado en la Finca Flor de Lis.</u> .....	38
<u>Figura 13. Condición de la caja de desbaste de gruesos antes de las actividades de recuperación del sistema.</u> .....	39
<u>Figura 14. Condición de la trampa de grasa.</u> .....	40
<u>Figura 15. Humedal artificial.</u> .....	40
<u>Figura 16. Distribuidor de entrada para aguas residuales.</u> .....	41
<u>Figura 17. Sistema de drenaje de salida del humedal artificial.</u> .....	41
<u>Figura 18. Etapa de vertido del agua tratada, etapa final del sistema de tratamiento de aguas residuales.</u> .....	42
<u>Figura 19. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal posterior a las actividades de recuperación.</u> .....	43

## **6. INDICE DE TABLA**

<u>Tabla 1. Composición típica de las aguas grises.</u> .....	11
<u>Tabla 2. Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor</u> .....	29
<u>Tabla 3. Parámetros obtenidos de las muestras tomadas en el sistema de tratamiento de aguas a los primeros 15 días.</u> .....	44
<u>Tabla 4. Parámetros obtenidos de las muestras tomadas en el sistema de tratamiento de aguas a los 30 días.</u> .....	46
<u>Tabla 5. Parámetros proporcionados mediante el análisis de laboratorio.</u> .....	49

## **7. INDICE DE GRÁFICOS**

<u>Gráfico 1. valores obtenidos de pH en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.</u> .....	44
--	----

<u>Gráfico 2. valores obtenidos de Sólidos Totales Disueltos en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.....</u>	45
<u>Gráfico 3. valores obtenidos de Oxígeno disuelto en el agua por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.....</u>	45
<u>Gráfico 4. valores obtenidos de pH en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.....</u>	47
<u>Gráfico 5. valores obtenidos de Sólidos Totales Disueltos en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.....</u>	47
<u>Gráfico 6. valores obtenidos de Sólidos Totales Disueltos en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.....</u>	48

## **8. INDICE DE ANEXOS**

<u>Anexo 1. Condición inicial del humedal artificial con exceso de presencia de Camote, Ipomoea batatas.....</u>	54
<u>Anexo 2. Levantamiento de la lámina de grava mezclada con barro.....</u>	54
<u>Anexo 3. Lavado de grava llena de barro.....</u>	54
<u>Anexo 4. Limpieza de distribuidores del humedal artificial.....</u>	54
<u>Anexo 5. Condición inicial de la caja de sedimentación primaria.....</u>	55
<u>Anexo 6. Dilución de 100 ml de Eficaz en 3 Galones de agua.....</u>	55
<u>Anexo 8. Llenado del humedal artificial con grava lavada y grava nueva.....</u>	55
<u>Anexo 7. Vertido de biorremediador Eficaz en la trampa de grasas.....</u>	55
<u>Anexo 9. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal al finalizar las actividades de recuperación.....</u>	56
<u>Anexo 10. Tubería de vertido reparada.....</u>	56
<u>Anexo 11. Aplicación biorremediador Eficaz al humedal artificial.....</u>	56
<u>Anexo 12. Aplicación en sistema radicular de biopotenciador en forma de Bioesferas.....</u>	56
<u>Anexo 13. Producto Eficaz como prueba piloto de aplicación de Biorremediador.....</u>	57
<u>Anexo 14. Establecimiento de plantas de Ginger (Alpinia purpurata).....</u>	57
<u>Anexo 15. Medición de parámetros por medio de Sonda Multiparamétrica.....</u>	57
<u>Anexo 16. Establecimiento del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.....</u>	57
<u>Anexo 17. Condiciones del agua que ingresa al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por medio de la trampa de grasas.....</u>	58

<u>Anexo 18. Condición del agua luego del proceso de depuración por parte de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.....</u>	58
<u>Anexo 19. recipientes para toma de muestra para análisis de laboratorio.....</u>	58
<u>Anexo 20. Muestra de encuesta realizada a productor para conocimiento de las condiciones del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales implementado en Finca Flor de Lis.....</u>	59
<u>Anexo 21. Parámetros establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 para aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor. ....</u>	59
<u>Anexo 22. Parámetros establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 para aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor. ....</u>	60
<u>Anexo 23. Parámetros obtenidos de la medición de aguas vertidas por medio de Sonda Multiparamétrica. ....</u>	60
<u>Anexo 24. Resultado de aguas tratadas por medio de análisis de laboratorio realizado a aguas grises. Análisis llevado a cabo por Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V. ....</u>	60

## **RESUMEN**

Con la implementación de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal podemos generar mayor aprovechamiento del recurso hídrico que se produce durante las actividades domésticas las cuales generan aguas residuales o aguas grises.

Al realizar el reúso de las aguas tratadas por el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales se deben de cumplir con criterios máximos permisibles dictaminados por la Normativa Salvadoreña vigente, dentro de las cuales podemos mencionar al Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS) y la Normativa Salvadoreña Obligatoria (NSO); para ello se debe de someter a análisis de laboratorio muestras de dichas aguas vertidas y comparar los resultados con los parámetros acá establecidos ya que nos garantizan que dichas aguas residuales tratadas pueden ser destinadas para riego como actividades de reúso.

Así como las actividades de recuperación llevadas a cabo al Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal establecido en la Finca Flor de Lis Ubicada en el Departamento de Santa Ana nos garantiza que el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales puede generar aguas de reúso por los cual se pueden considerar actividades de riego.

## **ABSTRACT**

With the implementation of a Constructed Wetland of Horizontal Subsurface Flow we can generate greater use of the water resource that occurs during domestic activities which generate wastewater or gray water.

When carrying out the reuse of the waters treated by the Wastewater Treatment System, the maximum permissible criteria dictated by the current Salvadoran Regulations must be met, within which we can mention the Salvadoran Technical Regulations (RTS) and the Mandatory Salvadoran Regulations ( NSO); To do this, samples of said discharged water must be submitted to laboratory analysis and compare the results with the parameters established here, since they guarantee that said treated wastewater can be used for irrigation as reuse activities.

As well as the recovery activities carried out to the Artificial Wetland of Horizontal Subsurface Flow established in the Flor de Lis Farm Located in the Department of Santa Ana, it guarantees us that the Wastewater Treatment System can generate reusable water for which it can be consider irrigation activities.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Dentro de los desechos más contaminantes que produce el ser humano tenemos las aguas residuales. Con este nombre se agrupan todas las aguas que, debido a la acción del hombre, han sido contaminadas y son potencialmente peligrosas en el caso de que sean vertidas en el medio ambiente sin un tratamiento previo.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñados, construidos y operados con el objetivo de convertir el líquido residual proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos que son separados durante el proceso. Esto obliga a satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado.

Las sustancias residuales que aparecen formando parte de los líquidos pueden estar presentes como disueltas, suspendidas o en estado intermedio denominado coloidal. Estas sustancias pueden ser de naturaleza mineral u orgánica contribuyendo así con la aparición de malos olores y apariencia física objetable. Para poder generar una reutilización de dichas aguas residuales y que estas no generen ninguna clase de contaminación al ambiente es necesario que estas atraviesen por un sistema de tratamiento para que dicha carga orgánica adquirida en la utilización se vea reducida a valores permisibles establecidos por las normativas establecidas como lo son el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 13.05.01:18), la Normativa Salvadoreña Obligatoria (NSO) y Decreto No 50 (Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección) entre otras.

La presente tesina describe las actividades de recuperación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y estudia la eficacia que genera la implementación de un sistema de tratamiento de aguas por medio del establecimiento de dicho humedal artificial, el cual contribuirá a la inhibición de malos olores que se producen por las aguas grises de las actividades generadas en la Finca Flor de Lis y así mismo generar una reutilización adecuada de este recurso hídrico el cual es vital para la comunidad y los ecosistemas que rodean a la finca.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Invertir eficientemente en aguas residuales y otras infraestructuras de saneamiento es crucial para lograr beneficios de salud pública, mejorar el medio ambiente y la calidad de vida (Banco Mundial 2020).

El agua constituye uno de los componentes principales de nuestro planeta, es útil en procesos de las actividades humanas tales como el saneamiento, uso de riego, agricultura, procesos industriales, usos domésticos, entre otros.

Para poder generar un beneficio como los antes mencionados, se debe de establecer un sistema de tratamiento de aguas grises como lo es la implementación de humedales artificiales que se adapten a los volúmenes hídricos que entran al sistema para ser tratadas y depuradas adecuadamente de todos los contaminante físicos, químicos y biológicos; para eso debe desarrollarse un estudio previo al sitio.

Debido a lo anterior se plantea la siguiente problemática:

¿Es eficaz el sistema de tratamiento de aguas grises que se implementa actualmente en la Finca Agroecológica Flor de Lis en el Departamento de Santa Ana?

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

- ✓ Recuperar y evaluar la eficacia de depuración de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas grises empleado en la Finca Flor de Lis, Santa Ana., El Salvador.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Realizar actividades de recuperación para el humedal artificial ya establecido en la Finca Flor de Lis Santa Ana.
- ✓ Determinar la capacidad del sistema de tratamiento de aguas grises empleado actualmente en la Finca Flor de Lis en Santa Ana.
- ✓ Analizar los parámetros de calidad del agua residual a la entrada y salida del humedal a fin de conocer la eficacia en el tratamiento, así como el cumplimiento del reglamento nacional vigente.

## IV. ESTADO DEL ARTE

### 4.1 Tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas grises por parte de La Asociación de Desarrollo Económico Social (ADES, Guacotectic, Cabañas) y Santa Marta.

ADES impulsa un proyecto enfocado en el Tratamiento de Aguas Residuales por medio de la aplicación de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en diferentes comunidades de Guacotectic Departamento de Cabañas, dentro de las comunidades que se ven involucradas en el desarrollo de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales están la Comunidad San Marcos y Santa Marta (Menjivar 2021).

Los humedales artificiales encontrados en las diferentes zonas donde se visitó para conocer sobre las tecnologías y caracterizar estas últimas, son también conocidas como biojardinera, tecnología empleada para sustentar el medio ambiente reutilizando el vital líquido usado tratándolo de manera que el agua gris proveniente de los hogares, cafetines o servicios sanitarios se predisponga para ser utilizada en riego para pequeños huertos familiares o en algunos casos como se pudo observar, para vertido directo al medio pero sin repercutir de manera negativa en el medio ambiente (Menjivar 2021).

Lo encontrado en Guacotecti (San Marcos) (Figura 2) y Santa Marta (Figura 1) fueron estructuras básicas, fáciles de reproducir en comunidades rurales, en hogares urbanos y también hasta en la ciudad hablando de los suburbios o en cualquier lugar donde se disponga de su uso, es importante destacar que el mantenimiento debe ser constante, para que el funcionamiento y la durabilidad, así como los resultados en las calidades de las aguas tratadas sea aceptable cumpliendo con estándares nacionales e internacionales (Menjivar 2021).



Figura 1. Biojardinera utilizada en Santa Marta

Figura 2. Biojardinera utilizada en ADES (San Marcos)

En los sistemas de tratamiento de aguas grises encontrados en ADES si se observó que el sistema posee un pretratamiento que es una trampa de grasa en la biojardinera ubicada en el cafetín, debido a que por la naturaleza de las actividades en el cafetín el porcentaje de grasa en las aguas grises es muchísimo mayor que en la biojardinera ubicada en los servicios sanitarios. Pero, a diferencia de lo encontrado en Santa Marta, municipio de Victoria, no, el sistema era tan sencillo que poseían un tratamiento de grasas, pero este lo ejecutaba una de las 3 pilas, la primera, por lo que en este caso si cumple con lo establecido en la teoría como un pretratamiento (Menjivar 2021).

#### **4.2 Relación hombre, agua residual y medio ambiente en El Salvador.**

El recurso hídrico en El Salvador está siendo altamente afectado por la presión humana sobre el mismo, agravando cada vez más su situación de disponibilidad; tanto en cantidad y como en calidad. Estos factores de presión son principalmente la sobreexplotación de los acuíferos, el vertido de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua (sin darles un tratamiento previo o con un tratamiento inadecuado), los cambios en el uso de suelos, deforestación, prácticas agrícolas inadecuadas, incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros (Vásquez 2005).

#### **4.3 Otros países**

##### **4.3.1 Costa Rica**

Los humedales albergan un ecosistema único donde el medio acuático y el terrestre se funden para dar refugio a un sinnúmero de especies. Para simular este ecosistema natural, desde hace décadas nació en Estados Unidos la idea de los humedales artificiales (*constructed wetlands*, en inglés) con el fin de depurar aguas sucias provenientes de industrias o residencias. Ingenieros agrícolas y en biosistemas de la Universidad de Costa Rica (UCR) trabajan ahora en adaptar este mecanismo a las condiciones de nuestro país y en implementarlo para tratar aguas residuales y agroindustriales (UCR 2022).

Los humedales artificiales son sistemas de ingeniería que aprovechan recursos de la naturaleza para limpiar residuos del agua. Básicamente, consisten en un terreno sobre el cual se coloca un material impermeable para evitar que el líquido se filtre en el subsuelo. Sobre esta herramienta se pone una mezcla de sustrato formada por arena, grava, piedra y otros componentes. Finalmente,

se utilizan plantas acuáticas que flotan sobre el agua. Los investigadores de la UCR se encuentran en conversaciones con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para implementar esta alternativa en alguna zona rural del país. Según el académico, la nueva tendencia de la Ingeniería en Biosistemas es que “cualquier residuo orgánico sea considerado un recurso”. Por esto, lo ideal es que el sistema propuesto recupere el agua ya limpia para reutilizarla en otras actividades y generar un ciclo que reduzca el consumo de este bien (UCR 2022).

### **4.3.2 Colombia**

En un estudio de Fibras y Normas de Colombia S.A.S. La contaminación urbana debido a la creciente natalidad en el mundo está formada por las aguas residuales de los hogares en todas sus clasificaciones. Ellos mencionan que, durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas, en los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración (Vásquez 2005).

### **4.3.3 Alemania**

en la década de 1970 el Dr. Kichuth creó un sistema llamado “Método de zona de raíces”, el cual consistía en un humedal de flujo horizontal en el que sembró *Phragmites australis*, añadiendo la combinación de calcio y hierro o aluminio para provocar la precipitación del fósforo. En el caso del estudio de los humedales en Estados Unidos de América el desarrollo de estos fue con base en los resultados de los trabajos europeos, mediante el estudio de los humedales naturales. Esta eco-tecnología también fue estudiada por la NASA, que desarrolló su propio sistema al cual llamaron “Sistema de tratamiento híbrido” debido a que utilizaba microorganismos anaerobios y plantas emergentes (*Phragmites communis*) (Arteaga 2018).

### **4.3.4 Canadá**

La metodología propuesta por Alberta Environment considera, la carga hidráulica y de nutrientes para el diseño del humedal, y proporciona la información necesaria para el tratamiento de las aguas residuales. Esta metodología surge de la necesidad de evaluar los proyectos que se presenten para su aprobación y proporcionar una guía preliminar para el proceso de diseño. Está propuesta para la reducción de la Demanda bioquímica de oxígeno

de 5 días ( $DBO_5$ ), Sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total ( $N_{total}$ ), Fosforo total ( $P_{total}$ ), Amonio ( $NH_4^+ -N$ ) y Nitrógeno orgánico ( $N_{org}$ ) principalmente. Está diseñada para humedales de flujo superficial y subsuperficial sin contemplar tampoco sistemas de flujo libre. Realiza un análisis para la evaluación del sitio, además del diseño de humedales. Para el diseño hidráulico utiliza las ecuaciones propuestas por Kadlec y Knight en 1993 (Arteaga 2018).

#### **4.4 Experiencias e importancia de tratar el agua residual.**

Según Vázquez (2005), de la Universidad de Piura, Perú expresaba la importancia en la experiencia de uso agrícola de aguas residuales tratadas en el Perú, Esto se viene desarrollando desde 1974, en la zona de COPARE en Tacna, donde se construyó la primera planta de tratamiento de aguas residuales y que luego permitió la habilitación de 400 hectáreas eriazas para la actividad agrícola. Ya desde 1975 los agricultores reportaban incrementos del 20%.

#### **4.5 Experiencias con tratamiento agroecológicos en LATAM**

Paradójicamente, el Perú fue uno de los primeros países latinoamericanos que logró experiencias exitosas en el uso de las aguas residuales domésticas para el desarrollo de áreas verdes productivas y recreativas en el desierto costero. El Proyecto de San Juan de Miraflores, implementado desde 1964, constituyó un modelo internacional para tratar esta agua a bajo costo y aprovecharla. Complejo Biotecnológico de San Juan de Miraflores para el reúso de aguas residuales tratadas como alternativas tecnológicas en cultivos agrícolas, piscícolas y forestales, que permitieron desarrollar 600 hectáreas en el desierto del sur de Lima (UDEP S.f).

#### **4.6 Experiencias e importancia de tratar el agua residual.**

El uso de infraestructura complementaria para el aprovechamiento de las aguas residuales, apropiadamente tratadas en riego, representa las acciones complementarias de un proyecto integral de gestión de recursos hídricos, especialmente en zonas áridas. pobladores de esa zona, provenientes del campo y con tradición de agricultores, se posesionaron de las tierras aledañas e iniciaron una importante experiencia de agricultura regada con estas aguas. La experiencia luego se extendió hasta Villa El Salvador, con el apoyo técnico del Programa de Protección Ambiental y Ecología Urbana del Ministerio de Vivienda y Construcción

(MVCS). Igualmente, motivó la creación del Parque Zonal Huayna Cápac, que actualmente permite esparcimiento para la población del sur de Lima. El 100% de su producción agrícola, cuando regaban con aguas residuales, en comparación con los cultivos tradicionales que usaban aguas de río y fertilizantes químicos. Así, por ejemplo, la producción de avena forraje se elevó de 12 a 22 TM/ha y la de tomate de 18 a 35 TM/ha. (Vázquez 2005).

Entre el año 2000 y 2003, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá (IDRC) ejecutaron una de las investigaciones de mayor envergadura acerca del manejo del agua residual doméstica en la Región Latinoamericana. En esta investigación, denominada “Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial”, participaron catorce países. Su tarea consistió en analizar las experiencias de manejo de las aguas residuales, recomendar estrategias para el diseño e implementación de sistemas que integren el tratamiento y el uso productivo de las aguas residuales, e identificar nuevas oportunidades de intervención en esta región (OPS 2003).

## **V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1 Aguas residuales**

Las aguas residuales son aquellas aguas las cuales contienen una gran cantidad de sustancias (químicas, biológicas), que son nocivas o dañinas para el ser humano afectadas ya sea por acciones naturales o antrópicas, que se generan a partir de residuos líquidos domésticos, urbanos, agrícolas, pluviales o industriales, las cuales pueden contener grasas, detergentes, materia orgánica, residuos industriales, agro ganaderos, sustancias toxicas, entre otros contaminantes (R. S. Remalho 1996).

Las aguas residuales originadas por residuos domésticos se conocen como aguas cloacales, grises, hervidas o fecales. Son llamadas como cloacales debido al transporte que ellas realizan mediante alcantarillas o cloacas y se llaman también residuales puesto que al haber sido empleado el recurso constituyen un residuo, algo que cumplido su funcionamiento ya el usuario directo no necesita y desecha (F&N 2020).

### **5.2 Clasificación del agua residual**

Caracterizadas por ser residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales (Figura 3) (F&N 2020).

Según F&N (2020), las Aguas Residuales se pueden clasificar en dos subgrupos:

#### **5.2.1 Aguas Negras:**

Las aguas negras se caracterizan por ser agua residual que transportan sustancias residuales originarias del excusado que pueden estar presentes como disueltos, suspendidos o en estado intermedio denominado coloidal. Estas sustancias pueden ser de origen mineral u orgánico, en el caso del origen mineral, estas sustancias provienen de los minerales que generaron parte integral de las aguas de sobre abastecimiento, y en el caso del origen orgánico le aportan propiedades indeseables al líquido residual cuando los microorganismos asociados con estas aguas, se alimentan de materia orgánica muerta generando descomposición y posteriormente aparición de malos olores y apariencia física objetable (F&N 2020).

### 5.2.2 Aguas Grises:

Se caracterizan por ser Aguas jabonosas las cuales pueden presentar contenidos de grasas, provenientes del lavado de utensilios de cocina, del uso de la ducha, la tina o el lavamanos o del lavado de ropa en el lavadero y la lavadora, estas aguas pueden ser reutilizadas directamente en el lavado del inodoro, para ahorrar agua. Las aguas grises se diferencian de las aguas negras porque no contienen bacterias fecales, como *Escherichia coli* (*E-Coli*) y son de vital importancia porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico (F&N 2020).

Las aguas grises tratadas también pueden ser utilizadas en actividades de riego como se observa en la figura 1, estas son tratadas previamente para depurar todos los contaminantes físicos, químicos y biológicos y que no alteren de forma negativa a los cultivos.

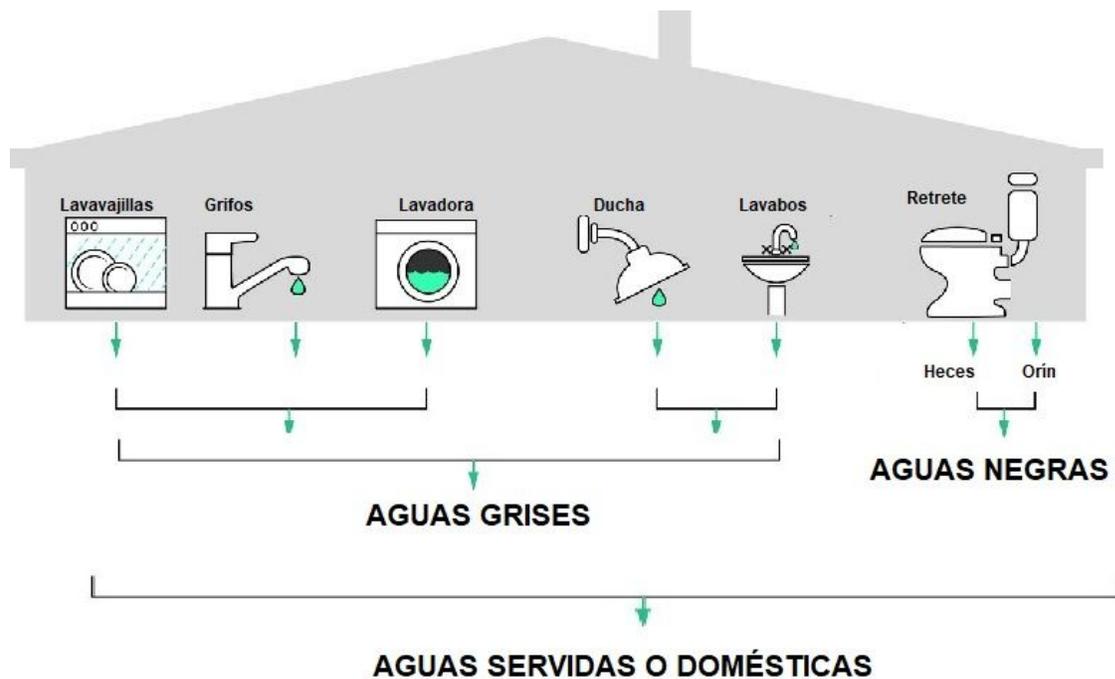


Figura 3. Origen de aguas residuales

Fuente: Tomado de Fibras & Normas de Colombia S.A.S. 2020.

En la tabla 1, se presentan datos típicos de los constituyentes encontrados en un agua residual.

Tabla 1. Composición típica de las aguas grises.

	PARÁMETROS	Valor orientativo AGUAS GRISES	Valor típico AGUAS RESIDUALES
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	Sólidos en suspensión	45-330 mg/l	450 mg/l
	DBO <sub>5</sub>	90-290 mg/l	400 mg/l
	N Kjeldahl	2,1-31,5 mg/l	50-60 mg/l
	Turbidez	22-200 NTU	
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	Coliformes totales	10 <sup>1</sup> -10 <sup>6</sup> UFC/100ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup> UFC/100 ml
	Escherichia Coli	10 <sup>1</sup> -10 <sup>5</sup> UFC/100ml	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> UFC/100 ml

Fuente: Tomado de AGUASRESIDUALES.INFO, 2022.

### 5.3 Composición del agua residual

Las aguas residuales se componen básicamente, en un 99.9% de agua, y un 0.1% por sólidos. Este 0.1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada dependiendo del tipo de re – uso que se quiera llevar a cabo. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido. La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO), y el pH (AGUASRESIDUALES.INFO 2022).

### 5.4 Diferencia de las aguas grises con las aguas residuales domésticas

A diferencia de las aguas residuales domésticas, éstas presentan una baja carga orgánica y una contaminación microbiológica sustancialmente menor. (AGUASRESIDUALES.INFO 2022).

En general podemos decir que el agua residual está compuesta de:

Cuadro 1. Composición general de las aguas grises.

AGUA	SÓLIDOS	GASES DISUELTOS	COMPONENTES BIOLÓGICOS
99.90%	0.1% Suspendidos Disueltos Coloidales Sedimentables	Oxígeno (O <sub>2</sub> ) Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Ácido sulfhídrico (HS <sub>2</sub> ) Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	Bacterias Hongos Virus Algas Protozoos Rotíferos

## **5.5 Características de las aguas grises**

### **5.5.1 Características físicas**

La característica física más importante de las aguas grises es su contenido total de sólidos, los cuales comúnmente se clasifican en: suspendidos y disueltos. Otras características físicas son: color, olor, turbiedad y temperatura.

#### **5.5.1.1 Sólidos totales**

Bajo esta denominación, se incluyen todos los sólidos existentes en las aguas residuales y que en promedio son un 50% orgánicos. Es precisamente esta unidad orgánica de los sólidos presentes en las aguas residuales la que es sujeto de degradación.

#### **5.5.1.2 Sólidos suspendidos**

Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre la superficie y el fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación, se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan tales como la arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura, los que son en un 70% orgánico y en un 30% inorgánico. Los sólidos suspendidos se dividen a su vez en dos grupos: Sólidos Sedimentables y Coloidales. La parte de sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentarse en un lapso de una hora, se denominan sólidos sedimentables, siendo en promedio un 75% orgánico y 25% inorgánicos. A la diferencia entre los sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se le denomina coloidales (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

#### **5.5.1.3 Sólidos disueltos**

Fracción del total de sólidos en el agua que pasan a través de un papel de filtro estandarizado. Incluyen la materia coloidal (un 10 por ciento) y los compuestos orgánicos solubles, así como los inorgánicos solubles (sales). Su proporción es de un 40 por ciento de productos orgánicos y un 60 de sólidos inorgánicos.

La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 0.001 y 1 micra (Figura 2). Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua. Por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión (UDEP Sf).

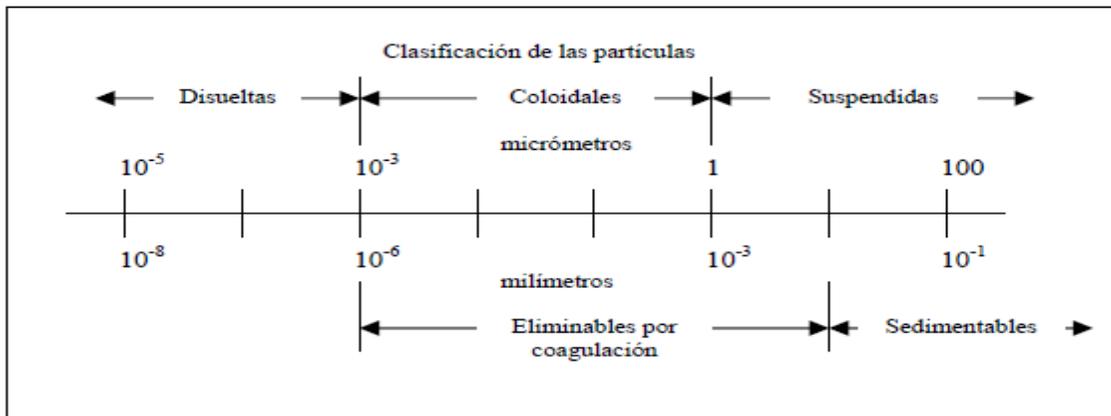


Figura 4. Clasificación de las partículas sólidas contenidas en las aguas grises, según su diámetro.

Fuente: Tomado de Universidad de Piura (UDEP S.f.).

#### 5.5.1.4 Color

El color en aguas grises es causado por sólidos suspendidos, material coloidal, y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. En el laboratorio se determina el color por medio de análisis colorimétricos o espectrofotométricos, cuyos resultados se expresan en (Unidades de Color Verdadero) en escala platino-cobalto (PtCo) (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

#### 5.5.1.5 Olor

Es la impresión producida en el olfato por las materias volátiles contenidas en el agua. El olor de las aguas residuales domésticas frescas es muy característico y ligeramente desagradable. A medida que la descomposición de éstas avanza y los sulfatos son reducidos a sulfuros, el mal olor puede incrementarse como resultado de una descomposición anaeróbica (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

#### 5.5.1.6 Temperatura

La temperatura de las aguas grises es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento, como consecuencias de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante ya que muchos de los sistemas de tratamiento aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la

temperatura. La temperatura óptima para el desarrollo óptimo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 °C y los 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 °C (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

### **5.5.1.7 Turbiedad**

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplean para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Este parámetro puede ser medido en el laboratorio con un aparato llamado turbidímetro y el resultado respectivo expresado en Unidad Nefelométrica de Turbiedad (UTN) (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

### **5.5.2 Características químicas**

Las características químicas se dividen en cuatro categorías:

#### **5.5.2.1 Materia orgánica**

En un agua residual de concentración media, un 75% de sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Proceden de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, éstos compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Hierro, azufre y fósforo también pueden estar presentes. Las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites son los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual:

**Proteínas**, es posible estén presentes en grandes cantidades produzcan olores desagradables debido a su descomposición.

**Aceites y grasas**, acceden al agua residual como mantequilla, manteca de cerdo, margarina, grasas y aceites vegetales. Las grasas se hallan generalmente en las carnes, germen de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas.

**Pesticidas y productos químicos agrícolas**, no son compuestos comunes del agua residual, sino que se incorporan fundamentalmente como corrientes de parques y campos agrícolas (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

### **5.5.2.2 Medida del contenido orgánico**

Los métodos utilizados hoy en día para determinar la cantidad de nitrógeno y oxígeno para mantener la actividad biológica en los procesos de tratamiento de aguas residuales son:

#### **➤ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO<sub>5</sub>). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica biodegradable. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad de agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica.

#### **➤ Demanda química de oxígeno (DQO)**

Se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un agente químico fuertemente oxidante; este ensayo se realiza a una temperatura elevada para facilitar la oxidación de los compuestos orgánicos que necesitan un catalizador. Los valores de la DQO han de estar en relación con los de la DBO; si la DQO es mucho mayor que la DBO una parte importante de la materia orgánica presente en el agua no será fácilmente biodegradable. Para las aguas domésticas, la DQO es del orden de 250 a 1000 mg de O<sub>2</sub> por litro, y la relación DBO/DQO oscila entre 0.4 y 0.8. Las aguas estabilizadas biológicamente tienen una relación DBO/DQO=0.12 (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

### **5.5.2.3 Materia inorgánica**

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua; conviene utilizar la naturaleza de algunos, especialmente de las añadidas al agua superficial por el ciclo de su utilización (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

### **5.5.2.4. Gases disueltos**

Pueden ser: nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), cloro (Cl<sub>2</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>) (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

### **5.5.3 Características biológicas**

Las características biológicas de las aguas grises son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas y animales, y virus. Atendiendo a su estructura celular estos microorganismos pueden clasificarse en:

- ❖ *Protistas inferiores o Procariotas*
- ❖ *Protistas superiores o Eucariotas*

Los organismos aerobios solo pueden existir en presencia de oxígeno molecular. Los organismos anaerobios existen solamente en un ambiente privado de oxígeno. Los organismos facultativos tienen la capacidad de sobrevivir con o sin oxígeno libre (Gómez Domínguez, RE et al. 2009).

## **5.6 Tratamiento de aguas grises**

### **5.6.1 Concepto de tratamiento de aguas grises**

El tratamiento de aguas grises consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para la disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables (ECURED S.f.).

### **5.6.2 ¿Qué es el tratamiento de aguas grises?**

Las aguas grises son producto de la utilización de agua potable por el ser humano, para diferentes usos de la vida diaria, tanto en hogares o a nivel industrial, lo que produce que esta sufra de alteraciones en su composición produciendo contaminación. Por medio del **tratamiento de**

**aguas residuales** es posible eliminar los contaminantes presentes en el agua a nivel físico, biológico y químico (ECURED S.f.).

El **tratamiento de aguas grises** puede involucrar varios pasos, dependiendo del nivel de purificación que se pretenda proporcionar al agua. El procesamiento del líquido residual puede ser tan simple como un proceso de asentamiento y filtrado, hasta procesos más complejos como la purificación total del agua. El método elegido dependerá en gran medida del acceso que se tenga a plantas de tratamiento.

Con la finalidad de aprovechar el mayor consumo de agua limpia, se han desarrollado increíbles sistemas de tratamientos de aguas residuales. El ser humano ha influido de manera negativa en la contaminación del agua, de allí la necesidad en mejorar y construir plantas de tratamientos o sistemas de tratamiento que eliminen al mayor grado la contaminación de ellas (ECURED S.f.).

### **5.6.3 Tratamiento de aguas grises**

El beneficio del tratamiento de las aguas grises, poder producir en gran medida agua efluente del tratado o agua limpia que sea reutilizable y que esté convenientemente disponible para el reúso. A este tipo de tratamiento también se le conoce como depuración de las aguas residuales, este nombre lo distingue del agua potable. Todo esto para alcanzar unos niveles acordes con la normativa vigente y proporcionar una correcta integración de esta agua residual con el entorno, y obtener los mejores rendimientos posibles.

Uno de los aspectos a considerar a la hora de realizar un vertido es que no se supere el poder de autodepuración del medio receptor para evitar efectos indeseables que dan lugar a una peor calidad (ECURED S.f.).

#### **5.6.3.1 Tratamiento Primario**

El principal objetivo del tratamiento primario es remover aquellos contaminantes que pueden sedimentarse, como los sólidos sedimentables y algunos sólidos suspendidos, o aquellos que pueden flotar como las grasas.

Normalmente, el Pretratamiento en la tecnología de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial está constituido exclusivamente por un desbaste de gruesos.

### **Desbaste de gruesos**

La eliminación de sólidos gruesos suele llevarse a cabo haciendo pasar las aguas grises a través de rejas de desbaste de 2.3 cm de separación entre barrotes, y de limpieza manual (Figura 5).



Figura 5. fotografía de una reja de desbaste de limpieza manual.

Fuente: Tomado de Centro de las Tecnologías del Agua (CENTA 2007).

#### ➤ **Sedimentación Primaria (trampa de grasa)**

La mayor parte de las sustancias en suspensión y disolución en las aguas residuales no pueden retenerse, por razón de su finura o densidad, en las rejas y desarenadores. Por ello se recurre a la sedimentación (también llamada decantación) que es la separación de un sólido del seno de un líquido por efecto de la gravedad. La decantación se produce reduciendo la velocidad de circulación de las aguas residuales, con lo que el régimen de circulación se vuelve, cada vez, menos turbulento y las partículas en suspensión se van depositando en el fondo del sedimentador.

Se realiza en tanques rectangulares o cilíndricos donde se remueve aproximadamente el 65% de los sólidos suspendidos y el 35% de la DBO presente en las aguas residuales. Los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Los lodos de un sedimentador primario son diferentes a los lodos de un desarenador los cuales son de tipo inorgánico. Las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

Los lodos que son sedimentados en un sedimentador primario se llaman lodos primarios, los cuales se recogen del fondo con rastrillos para luego ser sometidos a una digestión (UDEP S.f.).

El flujo horizontal predomina en los sedimentadores horizontales, a diferencia del flujo radial que ocurre en sedimentadores circulares.

En los sedimentadores rectangulares (Figura 6) la distribución del caudal es crítica, por lo que se requiere emplear alguno de los siguientes diseños:

- ❖ Canales que ocupan la totalidad del ancho del sedimentador
- ❖ Canales de entrada con orificios sumergidos
- ❖ Canales de entrada con compuertas grandes y deflectores

Los deflectores se utilizan para reducir las altas velocidades de ingreso y para distribuir el flujo a lo largo de la mayor sección transversal posible (Oropeza 2004).

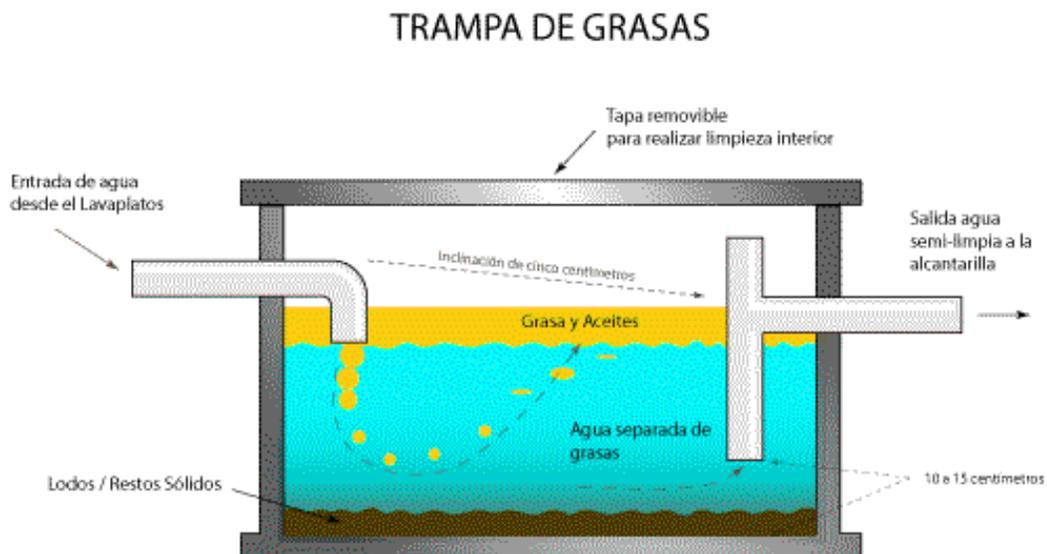


Figura 6. Tanque de sedimentación primaria rectangular

Fuente: Tomado de Universidad de Piura (UDEP S.f.).

## **Trampa de grasa:**

### Aplicación

El empleo de trampa de grasa es de carácter obligatorio para el acondicionamiento de las descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares, donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, así como de las descargas de lavanderías de ropa (Apuntes de Ingeniería Civil, S.f.).

¿Cómo funcionan estas trampas de grasas?: Las trampas de grasas retardan el flujo del agua procedente de los desagües, con lo que las grasas y el agua tienen tiempo para separarse. Al separarse las grasas flotan en la superficie mientras que otros sólidos más pesados se depositan en el fondo de la trampa. El resto del agua pasa libremente por el alcantarillado de la ciudad.

### Requisitos previos

- a) Los desechos de los desmenuzadores de desperdicios no se deben descargar a la trampa de grasa.
- b) Las trampas de grasa deberán ubicarse próximas a los aparatos sanitarios que descarguen desechos grasos, y por ningún motivo deberán ingresar aguas residuales provenientes de los servicios higiénicos.
- c) Las trampas de grasa deberán proyectarse de modo que sean fácilmente accesibles para su limpieza y eliminación o extracción de las grasas acumuladas.
- d) Las trampas de grasa deberán ubicarse en lugares cercanos en donde se preparan alimentos.
- e) La capacidad mínima de la trampa de grasa debe ser de 300 litros.
- f) En el caso de grandes instalaciones como hospitales o restaurantes que atiendan a más de 50 personas, deberán considerar la instalación de dos trampas de grasa.
- g) No es obligatorio diseñar trampa de grasa para viviendas unifamiliares.
- h) Las trampas de grasa pueden ser construidas de metal, ladrillos y concreto, de forma rectangular o circular.
- i) Las trampas de grasa se ubicarán en sitios donde puedan ser inspeccionadas y con fácil acceso para limpiarlas. No se permitirá colocar encima o inmediato a ello maquinarias o equipo que pudiera impedir su adecuado mantenimiento.

¿Cómo realizar el mantenimiento de la trampa de grasas?: Para llevar a cabo el mantenimiento se hace necesario que el usuario que lo ejecuta tenga en cuenta las siguientes recomendaciones de seguridad y medio ambiente:

- ❖ El usuario deberá tener como mínimo guantes, botas y mascarillas.
- ❖ No usar detergentes ni lejías.

Pasos para el mantenimiento: Previa inspección del nivel de natas o grasas en la superficie de la trampa siendo esta mayor a 3cm iniciar con el mantenimiento.

- ❖ Destapar y extraer los flotantes que son las natas de grasas y aceites, usar un colador con orificios que le permita retirarlos. Si hay suficiente cantidad retirar los lodos del fondo dejando un residuo aproximado al 20% del total.
- ❖ Remover grasas, aceites y sólidos del fondo de la trampa usando espátulas, palas o herramientas que le permitan realizar esta labor.
- ❖ Recoger y transportar las natas y lodos, preferibles en canecas, retirándole toda el agua posible. Evitar cualquier derrame.
- ❖ Las grasas se deben vaciar en fundas completamente serradas y listas para depositarlas en la basura.
- ❖ Para aceites y derivados del petróleo, recoger y transportar los lodos y natas en contenedores herméticos resistentes al impacto. Luego deben almacenarse para ser desalojados.
- ❖ Los aceites de las lubricadoras deberán almacenarse en contenedores para luego ser comercializadas (HidroPlayasEP. 2020).

### **5.6.3.2 Tratamiento Secundario**

El tratamiento secundario tiene como objetivo la eliminación de la materia orgánica biodegradable no sedimentable (materia orgánica finamente dividida y disuelta en el agua residual), junto a otros varios contaminantes. Básicamente, consiste en provocar el crecimiento de microorganismos que asimilan la materia orgánica, los cuales se reproducen y originan nuevos microorganismos insolubles que después son separados del flujo tratado como un fango destinado a una digestión definitiva o a la reutilización como enmienda del terreno. De hecho, se trata de una aplicación controlada de los sistemas naturales de autodepuración de las aguas, por lo que a este tipo de tratamiento se le llama tratamiento biológico.

Un tratamiento secundario remueve aproximadamente un 85% de la DBO y los sólidos suspendidos, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno y fósforo, metales pesados y bacterias patógenas.

En el tratamiento secundario de tipo biológico, la materia orgánica es utilizada como alimento de los microorganismos tales como hongos, bacterias, protozoos, rotíferos, etc., de tal manera que ésta es transformada en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y un nuevo material celular.

Además de los microorganismos y materia orgánica es necesario hablar de oxígeno biodegradable ò DBO, y ciertas condiciones favorables como el pH, y un adecuado tiempo de contacto (UDEP S.f.).

#### ➤ **Tratamiento de sistemas naturales**

La naturaleza en sus diferentes composiciones de suelo y fauna tiene la capacidad de responder a contaminantes naturales que aprovecha para su desarrollo, por lo que en los últimos años se ha incorporado a la naturaleza en los procesos de limpieza de las aguas residuales. Los sistemas naturales se aplican una vez que el agua ha recibido un tratamiento previo, para que la carga de contaminantes se aproxime a la capacidad de purificación que tienen tanto plantas como suelos. Estos sistemas a diferencia de los reactores, son sistemas aeróbicos, es decir, necesitan del oxígeno para su correcto funcionamiento (Oropeza 2004).

Los procesos de limpieza naturales como ya se ha mencionado antes, se han desarrollado en diferentes medios, adaptándose a las características de los suelos y plantas, partiendo de esta idea, se puede clasificar a los tratamientos en sistemas naturales: tratamiento en suelo de escurrimiento superficial, tratamiento en humedales y tratamiento con plantas acuáticas (Oropeza 2004).

**Tratamiento en agua, humedales:** los humedales o wetlands (Figura 7) son áreas de tierra inundada que se conocen como pantanos, con poca profundidad para que la vegetación pueda llegar a la parte inferior y sostenerse del suelo firme. Las plantas de estos sitios proveen a la superficie de una película de bacterias, ayuda en la filtración y absorción de componentes, transfiere oxígeno y controla el crecimiento de algas al evitar la penetración de la luz solar (Oropeza 2004).



Figura 7. Tipos de humedales artificiales

Fuente: Tomado de iagua 2020.

Los humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos adaptados a estas condiciones de inundaciones temporales y/o permanentes. En este tipo de ecosistema se desarrollan también determinados procesos físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos.

Básicamente, los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales (iagua, 2020).

Principalmente están compuestos por:

- ❖ Un sustrato o material granular: sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- ❖ La vegetación: principalmente compuesta por macrófitas emergentes que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la rizosfera, a la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana.

- ❖ El agua a tratar o influente: circula a través del sustrato y la vegetación.

Los mecanismos por los que este tipo de sistemas son capaces de depurar las aguas residuales se basan en los siguientes principios:

- ❖ Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
- ❖ Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O<sub>2</sub>) o anaerobios (sin O<sub>2</sub>).
- ❖ Eliminación de nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.
- ❖ Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
- ❖ Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

Existen diferentes tipos de humedales artificiales (Figura 8) en función del sentido de circulación del flujo de agua:

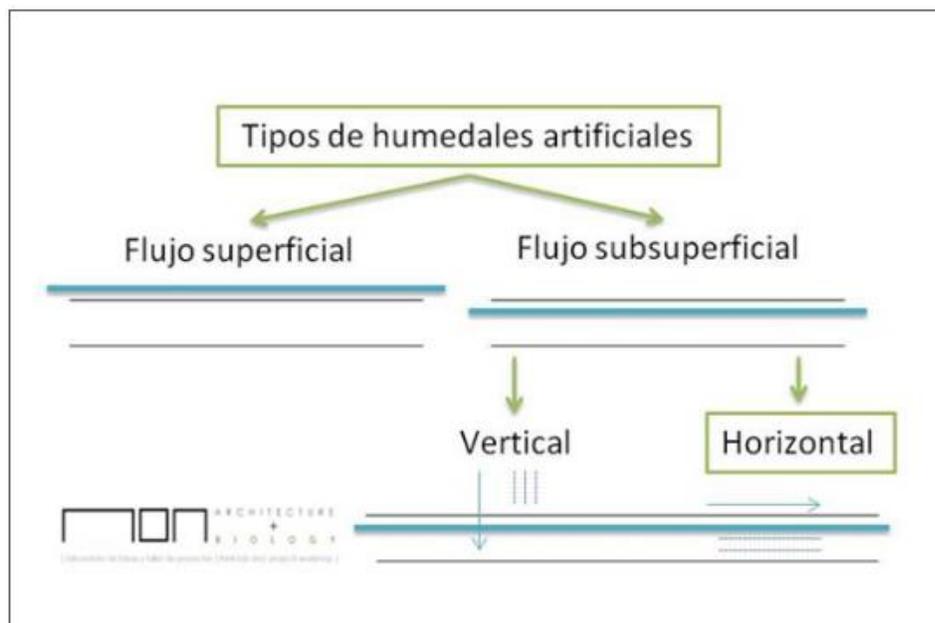


Figura 8. Tipos de humedales artificiales

Fuente: Tomado de iagua 2020

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación, que habitualmente suele ser carrizo. Los HAFSs son generalmente instalaciones de menor tamaño que los de Flujo Superficial, y que en la mayoría de los casos se emplean para el tratamiento de las aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2.000 habitantes. Este tipo de humedales presenta ciertas ventajas con respecto a los de Flujo Superficial, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos, al circular el agua subsuperficialmente. Igualmente, presentan una mejor respuesta ante los descensos de la temperatura ambiente (CENTA 2007).

Como desventajas cabe citar su mayor coste constructivo, motivado principalmente por el coste de adquisición y colocación del sustrato filtrante, y los mayores riegos de colmatación de dicho sustrato. Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los HAFSs se clasifican en Horizontales y Verticales. En los horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente un sustrato filtrante de gravillas-grava de unos 0,6 m de espesor, en el que se fija la vegetación. A la salida de los humedales una tubería flexible permite controlar el nivel de encharcamiento, que suele mantenerse unos 5 cm por debajo del nivel de los áridos, lo que impide que las aguas sean visibles.

Los sistemas de flujo sub-superficial son conocidos como bio-filtros horizontales, consiste en un filtro de grava o arena, sembrado con plantas de humedad y atravesado de forma horizontal con aguas residuales tratadas previamente. La grava y arena al igual que en los percoladores, desarrolla una película micro bacteriana que degrada las sustancias contaminantes, pero para ello, necesita de oxígeno, que en esta agua escasea (Oropeza 2004).

En la mayoría de los casos se usan para el tratamiento de aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2000 habitantes. En función del sentido del flujo, pueden ser horizontales o verticales.

- ❖ Humedales artificiales de flujo sub-superficial vertical: el agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen incluir chimeneas de aireación para favorecer las condiciones aerobias. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación, entre otros.

- ❖ Humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal: el agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación, entre otros.

#### La aplicación de estos humedales se especifica a continuación:

- ❖ Se recomienda el uso del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario que no contengan excretas (aguas grises), en aquellas situaciones en que el terreno es impermeable (coeficiente de permeabilidad  $< 10^{-5}$  cm/s) y donde no es factible aplicar un sistema de absorción o cuando el terreno por su excesiva permeabilidad y nivel freático alto menor a un metro y no hace posible la implantación de un sistema de absorción.
- ❖ Se pueden utilizar como tratamiento terciario para aguas residuales de tipo ordinario con contenido de excretas y cuyos efluentes han sido sometidos a tratamientos secundarios completos, como el caso del uso del sistema de tanque séptico, seguido por un FAFA y luego el paso al humedal. En estas situaciones sí se hace necesario el empleo de geomembranas de polietileno de alta densidad para lograr el aislamiento del humedal.
- ❖ Las aguas residuales de tipo ordinario con contenido de excretas podrán ser vertidas en forma superficial no afectando terrenos vecinos) o a un cuerpo receptor en cumplimiento de los parámetros del reglamento especial de aguas residuales, para ello será necesario haber sido sometidas a desinfección por cloración con un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos.
- ❖ Los usuarios podrán reusar las aguas residuales de tipo ordinario sin excretas (aguas grises), que han sido tratadas en un humedal para el riego de patios o jardines, cuyo efluente no es requerido sea sometido a la desinfección (ASIA et al. 2015).

#### Plantas utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales

- ❖ El buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)
- ❖ La Salvinia molesta
- ❖ Lechuguia (*Pistia stratioides*)
- ❖ Lenteja de agua, Repollitos de agua (*Lemna minor*)
- ❖ Junco (*Schoenoplectus californicus*)

- ❖ Egria densa (*Elodea canadensis*)
- ❖ Carrizo común (*Phragmites australis*)
- ❖ Algas marinas de la Patagonia
- ❖ Papiro
- ❖ Lirio amarillo (*Iris Pseudacorus*)

#### Características de las plantas utilizadas en humedales artificiales

- ❖ Capacidad fisiológica y bioquímica de absorber, retener y degradar los contaminantes.
- ❖ Los sistemas de plantas acuáticas incluyen dos clases basados en tipos de plantas dominantes:
  - ✚ El primer tipo usa plantas flotantes
  - ✚ El segundo tipo usa plantas sumergidas

#### Clasificación de las plantas utilizadas en humedales artificiales

- ❖ Flotantes
- ❖ Aguas profundas
- ❖ Oxigenadoras
- ❖ De ribera o palustres
- ❖ Estanque

### **5.7 mecanismos de depuración de los humedales artificiales**

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales a tratar mediante el empleo de Humedales Artificiales son los siguientes:

- **Eliminación de sólidos en suspensión:** En la eliminación de la materia en suspensión mediante Humedales Artificiales intervienen procesos de sedimentación, floculación y filtración (CENTA 2007).
- **Eliminación de materia orgánica:** En el caso de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal, la presencia de oxígeno es mucho menor, debido a que el medio se encuentra saturado por el agua, que desplaza a los gases atmosféricos de los poros, dando lugar a un sustrato anóxico. En las zonas de los humedales carentes de oxígeno molecular la degradación de la materia orgánica transcurre vía anaerobia, a

lo largo de una serie de etapas concatenadas, en los que los compuestos resultantes de cada etapa sirven de sustrato a la etapa siguiente. Estas etapas son las siguientes:

Etapas hidrolítica: los compuestos orgánicos complejos (hidratos de carbono, proteínas, lípidos), son transformados en otros más sencillos (monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, glicerol), que sirven de sustrato a las bacterias de la siguiente etapa. En esta etapa también se produce la solubilización de parte la materia orgánica particulada (CENTA 2007).

Etapas acidogénica: los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son transformados en ácidos orgánicos volátiles (acético, propiónico y butírico, fundamentalmente), mediante el concurso de bacterias generadoras de ácidos (acidogénicas, acetogénicas). La capacidad tampón del medio permite mantener los valores de pH próximos a la neutralidad. Dado que los productos que se forman en esta etapa se encuentran muy poco estabilizados con relación a los iniciales, los rendimientos de eliminación de materia orgánica que se alcanzan, expresados como DBO5 o DQO, son muy bajos.

Etapas metanogénica: los ácidos orgánicos volátiles, liberados en la anterior etapa, son transformados mediante el concurso de bacterias metanogénicas, en biogás, mezcla de metano y anhídrido carbónico (CENTA 2007).

## **5.8 Legislación a cumplir para aguas residuales en el salvador**

Para los efectos del Reglamento Técnico Salvadoreño será aplicable el siguiente concepto:

**Agua residual de tipo ordinario:** agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

Para la determinación de los parámetros de la calidad del agua residual a utilizar, se tomará de base el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS) en su versión RTS 13.05.01:18 denominado: AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES (Anexo 21) y la Norma Salvadoreña Obligatoria (NSO), en su versión NSO 13.49.01:09 denominado: AGUA. AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR (Anexo 22).

### 5.8.1 Límites permisibles de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a medio receptor

Las aguas residuales de tipo ordinario, previo a ser vertidas al medio receptor, deben cumplir con las disposiciones de la Ley de Medio Ambiente y sus Reglamentos, además debe cumplir los límites permisibles establecidos en la Tabla 3. Del Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018).

Tabla 2. Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor

Parámetro	Unidad	Límite permisible
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	60
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	60
Sólidos Sedimentables (SS)	mL/L	1
Aceites y Grasas	mg/L	20
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6.0 - 9.0
Coliformes fecales	NMP/100 mL	Reportar
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> /día	Reportar
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Reportar

Fuente: Tomado de Universidad de Piura (UDEP S.f.).

## VI. METODOLOGÍA

### 6.1 Ubicación del estudio

#### Finca Flor de Lis

La Finca Flor de Lis (Figura 9) posee un área de 10,258.09 m<sup>2</sup>, está ubicada en el Cantón Las Aradas, Caserío la Eureka Departamento de Santa Ana con coordenadas geográficas 13°55'28.5"N y 89°32'00.8"W a una altitud de 826 msnm. Con un clima tropical y una temperatura promedio de 23.0 °C.

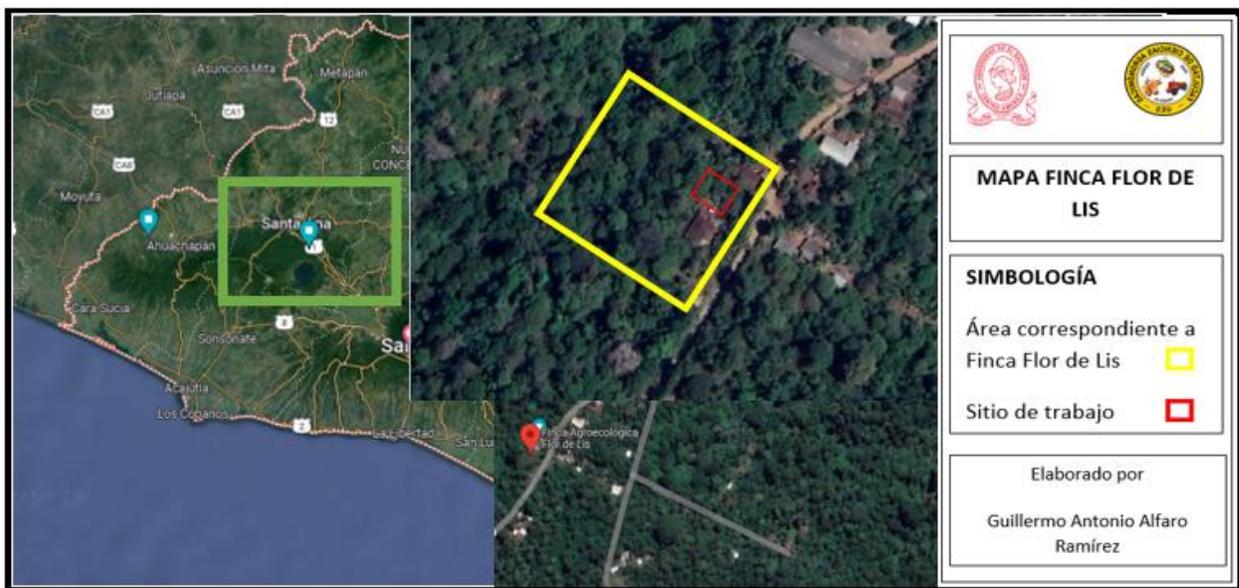


Figura 9. Mapa de ubicación de la Finca Flor de Lis, Santa Ana.

### 6.2 Metodología de oficina

#### Asesoramiento por tutor de tesina

el asesor de tesina proporciona la guía necesaria para poder clasificar la información requerida para el desarrollo del proyecto de investigación, posteriormente se utiliza el Método Científico para realizar la estructuración y ordenamiento de la información para mayor comprensión y poder así realizar la medición de la eficacia del humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal.

#### Reunión con representantes de Finca Flor de Lis

Se realiza un acercamiento con Amílcar Alvarado el cual es el productor propietario de la Finca Flor de Lis para conocer de primera mano las condiciones físicas del humedal artificial ya establecido, y de esta forma determinar las acciones necesarias para llevar al humedal artificial a

condiciones ideales de funcionamiento y que así pueda aprovecharse el recurso hídrico proveniente de las actividades cotidianas que se llevan a cabo en el interior de la finca.

Las acciones a tomar para mejorar las condiciones físicas del humedal artificial ya establecido se dan a conocer al productor para evaluar la capacidad de cobertura de las necesidades y así implementar acciones accesibles para el productor.

### **Preparación de instrumentos, cuadros y formatos a utilizar**

Una vez determinado lo anterior, se utilizan instrumentos de medición de la calidad del agua y un cuadro de control para la documentación de los datos de la toma de muestra realizada durante las actividades de evaluación del humedal artificial, para la determinación de calidad de agua se preparan depósitos de toma de muestras las cuales se someterán a análisis de laboratorio a través de una institución acreditada.

### **6.3 Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.**

Las búsquedas de información, mediante la investigación lleva la necesidad de hacer uso de tecnologías, herramientas y demás materiales necesarios para completar las acciones requeridas y obtener resultados favorables que nos permitan analizar de manera lógica y crítica la información, es por eso que fue necesario el uso del equipo siguiente:

#### **✓ Sonda multiparamétrica**

La sonda multiparamétrica es un sistema de medición y control en continuo para monitorizar la calidad del agua y la carga contaminante de un vertido que permita optimizar un proceso de depuración o circuito de agua.



Figura 10. Sonda Multiparamétrica para análisis de aguas residuales.

### ✓ **Cámara fotográfica**

La cámara fotográfica fue necesaria durante la investigación para realizar las tomas de las muestras, y de las tecnologías mismas, fue de gran utilidad y permitió justificar los trabajos realizados.

### ✓ **Cinta Métrica**

Esta herramienta fue de gran utilidad, pues nos permitió caracterizar las tecnologías tomando medidas de las mismas, determinando así unidades empleadas en las diferentes estructuras de construcción.

### ✓ **Depósitos de muestras**

Estos depósitos (Figura 11) permitieron que se pudiesen extraer las muestras correspondientes para ser analizadas y así obtener los resultados deseados por la investigación.



Figura 11. Depósitos utilizados para la recolección de muestras.

### ✓ **Eficaz (Biorremediador)**

El Eficaz es un Biorremediador hecho a base de microorganismos activos entre los cuales se encuentran *Lactobacillus platarun*, *Lactobacillus cacel*, *Latobacilus fermentun*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumillis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustre*, esto con la finalidad de reducir malos olores, reducción de lodos, reducción de bacterias y protozoos y reducción de compuestos tóxicos presentes en el humedal que pueden alterar la función de depuración.

✓ **Bioesferas (Biopotenciador)**

las cuales están hechas a base de Bocashi, ácido cítrico, magnesio, boro, zinc harina de hueso, sulfato de potasio, sulfato de cobre, barro (lo que ayuda a moldearlo en forma de esfera) y Eficaz.

✓ **Computadora**

Un equipo sin duda fundamental en la investigación, pues mediante el, se procesaba y transcribía la información para ser plasmada en la tesina.

✓ **Cuadernos y papelería.**

Los diferentes cuadernos, así como la papelería necesaria para recolectar la información fue de vital ayuda en esta investigación.

Para la medición de parámetros se lleva a cabo una recolección de datos posterior a las actividades de recuperación del sistema, una segunda toma de muestras a los 15 días de funcionabilidad del humedal artificial de flujo subsuperficial y una última toma de muestras a los 30 días los cuales serán los que definirán la capacidad de eficacia en la funcionabilidad del humedal artificial aplicado para el tratamiento de aguas residuales.

✓ **Piocha**

Herramienta utilizada dentro de las actividades de recuperación del sistema de tratamiento de aguas grises para la remoción de la grava contaminada con arcilla.

✓ **Pala**

Herramienta utilizada para la remoción e incorporación de la grava al sistema.

✓ **Azadón**

Utilizada para remover la tierra necesaria dentro de las actividades de recuperación del humedal artificial.

✓ **Barra lineal**

Utilizada para la descompactación de la grava con arcilla dentro del humedal artificial.

✓ **Regadera**

Utilizada para dosificar el biorremediador Eficaz dentro del humedal artificial y sobre la lámina de grava.

✓ **Esferas orgánicas bioestimulantes**

Utilizadas para ayudar y potenciar el crecimiento y adaptación de las plantas integradas al tratamiento de aguas grises.

✓ **Bioremediador Eficaz**

Producto utilizado para disminuir las grasas y microorganismos acumulados dentro del humedal artificial

✓ **Manguera**

Utilizada dentro del proceso de lavado de la grava con arcilla encontrada en el humedal artificial.

✓ **Grava**

Se utiliza 1 m<sup>3</sup> para completar el volumen de la lámina de grava presente en el humedal artificial.

## **6.4 Metodología de campo**

### **6.4.1 Fase 1 Observación y Evaluación.**

Se realiza una entrevista al productor a partir de una serie de preguntas e ítems (Anexo 20) elaborados para la recolección de información para determinar el grado de conocimiento del funcionamiento del humedal artificial ya establecido, y de esta forma se identificaron las áreas en las cuales se debe de realizar un reforzamiento de conocimientos para que se pueda generar una mayor eficacia en el tratamiento de aguas grises que se generan en la finca.

Posteriormente a la entrevista se realizó un análisis de la condición física del humedal artificial ya establecido el cual es receptor de todas las aguas grises que se generan a causa de las actividades cotidianas dentro de la finca.

### **6.4.2 Fase 2 Actividades de Recuperación.**

Una vez determinada la fase 1 se realizan actividades de recuperación del humedal para tener un punto de partida de condiciones adecuadas de funcionamiento, entre las actividades que se realizan para la recuperación del humedal artificial tenemos:

- Remoción del organismo vegetal presente en la superficie del humedal

Se realizó una remoción total del Camote (*Ipomoea batatas*) (Anexo 1) ya que el sistema radicular desarrollado favorecía a la obstrucción de la función de filtrado que debe realizar la lámina de grava.

- Levantamiento de grava y lavado de la arcilla presente en el material

Se retiró la grava para aliviar el efecto de compactación por la arcilla mezclada con el material y posteriormente lavarla para retiro de la arcilla, esto con la ayuda de azadón y piocha.

- Adición de Biorremediador de Aguas Residuales y Lodos “Eficaz”

Se adicionaron 200 ml del Biorremediador Eficaz en dos etapas, en la primera se agregó en forma de riego con la ayuda de una regadera un volumen total de 100 ml.

En la segunda etapa se adicionaron 100 ml de forma directa a la trampa de grasa para poder limpiar el sistema desde los puntos más críticos del sistema.

- Limpieza de sistema de tuberías de entrada y salida del sistema

Se realizó la limpieza de los distribuidores de tubos PVC de entrada y salida instalados dentro del humedal artificial.

Se realizó la limpieza de la caja de sedimentación y lavado con la ayuda de una manguera ya que se retiran los restos de lodos y arcilla existentes dentro de la estructura.

- Limpieza de trampa de grasa

Se realizó el vaciado del contenido de la trampa de grasa con la ayuda de un recipiente para poder extraer toda la grasa y detergente en el interior.

- Adición de grava hasta el nivel establecido en el humedal artificial

Una vez lavada la grava se devuelve al sistema, para crear la lámina de filtración para las aguas grises que entran al sistema se agrega 1m<sup>3</sup> más de grava y que las aguas puedan ser depuradas de forma correcta.

- Establecimiento de nuevas plantas en la superficie de la lámina de grava

Para el establecimiento del material vegetal se escogen plantas Ginger (*Alpinia purpurata*) ya que estas se adaptan fácilmente al medio en el cual se establecen.

Para asegurar un desarrollo adecuado de las plantas se hace uso de un biopotenciador como lo son las Bioesferas, dichas Bioesferas se colocaron una por cada planta cerca del sistema radicular para una mayor efectividad y asegurar que la planta absorba los nutrientes que estas aportan.

- Corrección de fallas físicas en la tubería de drenaje de salida.

Se realizó un desmonte de la tubería de salida de agua del sistema para corrección de la inclinación para favorecer el flujo de agua hacia la fosa receptora.

- Llenado del sistema con agua

para verificar que el flujo y filtración sea el adecuado se realizó el vaciado de 3 barriles con agua (el volumen de cada barril es de 220 lt, lo que genera un total de 660 lt) para una depuración total del sistema y que se cree la lámina efectiva de drenaje dentro del humedal.

### **6.4.3 Fase 3 Sistema de Monitoreo.**

Para poder realizar un monitoreo efectivo se consideraron puntos de control desde la generación de las aguas grises hasta el vertido del agua junto a la metodología de muestreo para cada punto de control establecido, los puntos considerados para la toma de muestra a ser analizadas por la sonda multiparamétrica son:

- ✓ Tubería de entrada de agua desde el lavadero
- ✓ Trampa de grasa
- ✓ Tubería de vertido de agua tratada

Para el muestreo de estos puntos se hace uso de frascos para muestras y una sonda multiparamétrica. El muestreo se realiza en dos tiempos con un periodo de 15 días entre cada muestreo a partir de la finalización de la etapa de recuperación del humedal artificial, en cada fase de muestreo se tomaron 2 muestras de 3 unidades cada una para realizar la comparación de la capacidad de depuración de humedal haciendo un total de tiempo de un mes para el control por medio de la sonda multiparamétrica.

Para el análisis de datos por medio de laboratorio se establecen los puntos:

- ✓ Tubería de entrada de aguas grises
- ✓ Tubería de vertido de agua tratada

Este muestreo se realiza con los frascos brindados por el laboratorio según sus normativas, para el análisis de laboratorio se toma un periodo de 15 días posterior a la última toma de muestra para el control por medio de la sonda multiparamétrica.

Esto con la finalidad de conocer la efectividad de depuración final del humedal artificial de flujo subsuperficial la cual se lleva a cabo por medio de la comparación de los parámetros dados por el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS) n su versión RTS13.05.01:18 y la Norma Salvadoreña Obligatoria (NSO), en su versión NSO 13.49.01:09. Para el monitoreo de muestras analizadas con la sonda multiparamétrica se utilizan diferentes instrumentos para llevar a cabo los análisis de datos

#### **6.4.4 Fase 4 Recolección de datos y análisis de laboratorio**

##### ➤ Recolección de datos

Para llevar a cabo la recolección de los datos se utilizaron frascos para muestras y una sonda multiparamétrica la cual nos indicaba si el agua tratada se encontraba en mejores condiciones físicas y químicas de las encontradas en las aguas grises de entrada.

##### ➤ Análisis de datos

El análisis de los datos recolectados mediante la toma de muestras del agua que el sistema filtra será sometido a análisis por medio de una sonda multiparamétrica y análisis en un laboratorio certificado; dichos datos serán comparados con los establecidos en base al Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 denominado: Agua. Aguas Residuales. Parámetros De Calidad De Aguas Residuales Para Descarga Y Manejo De Lodos Residuales.

Y de esta forma determinar el nivel de eficacia de depuración del sistema implementado para el tratamiento de aguas grises.

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1 Fase 1 Evaluación.

El sistema de tratamiento de aguas grises implementado en la Finca Flor de Lis es un sistema convencional el cual está constituido de una estructura básica iniciando desde una fuente de entrada de aguas grises, una etapa de desbaste de gruesos, una etapa de sedimentación primaria, un humedal artificial de flujo subsuperficial con elementos vegetativos y una sección de vertido de agua tratada como se observa a continuación:

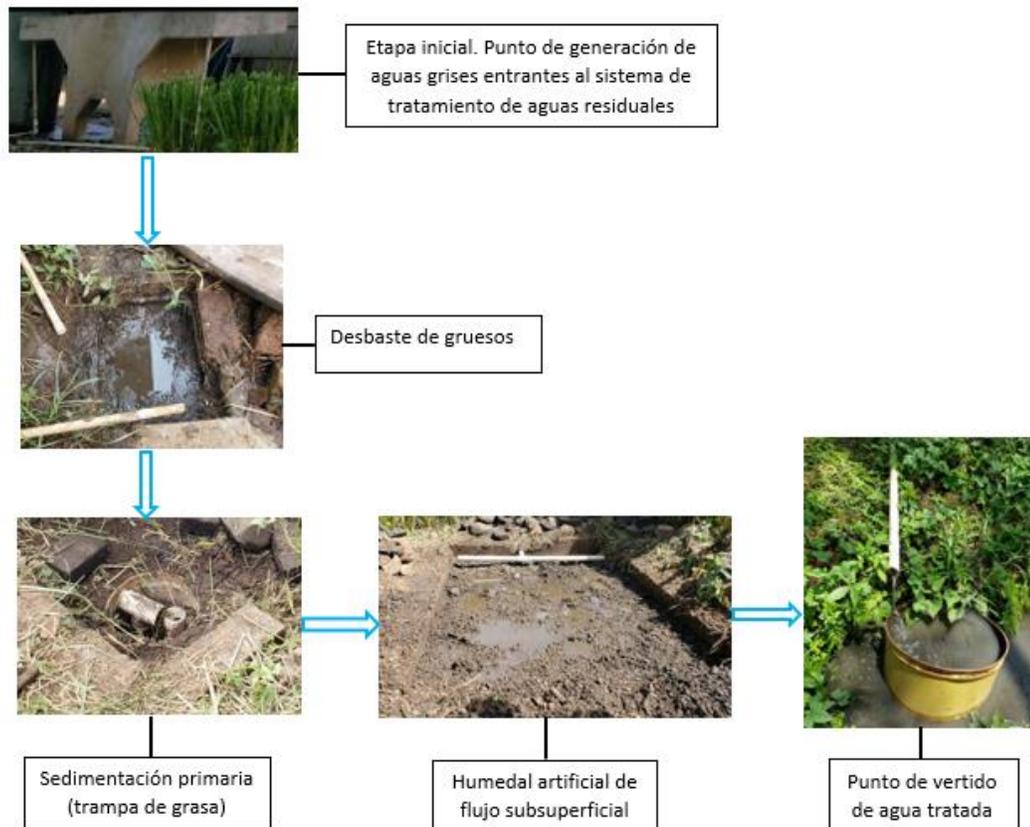


Figura 12. Diagrama de las estructuras que conforman el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales implementado en la Finca Flor de Lis.

El humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal implementado en la Finca Flor de Lis consta de las siguientes características específicas en cada una de sus etapas como se describe a continuación:

➤ Etapa inicial

El sistema de tratamiento de aguas residuales inicia con un punto de generación de aguas grises el cual lo conforma una pila prefabricada de cemento con dos lavaderos, cada uno de los lavaderos posee 1 tubería de PVC de ½ pulgada, esta tubería se encuentra en forma de “L”, el tubo horizontal de 1.5m unido por un codo de igual medida a una tubería vertical de 1m de PVC de ½ pulgada las cuales van dirigidas hacia la caja de desbaste de gruesos.

➤ Desbaste de gruesos

Consta de una caja de desbaste de gruesos con paredes de cemento con dimensiones 0.30m x 0.40m x 0.17m, una tubería de PVC de 2 pulgadas la cual sirve como salida de las aguas grises hacia la siguiente etapa del sistema de tratamiento de aguas residuales.



Figura 13. Condición de la caja de desbaste de gruesos antes de las actividades de recuperación del sistema.

➤ Sedimentación primaria

Consta de una trampa de grasa para la separación de líquidos la cual ha sido improvisada con una cubeta plástica con dimensiones 29.5 cm de diámetro superior y 36 cm de altura con una capacidad de 19 lt, tubería interna de PVC de 2 pulgadas la cual funciona como entrada y salida

de las aguas grises, la entrada de las aguas grises se da por medio de una Tee de 2 pulgadas al igual que la salida de agua se realiza por medio de un tubo PVC de 2 pulgadas a una altura de 15 cm desde el fondo de la cubeta y una Tee de PVC de 2 pulgadas.



Figura 14. Condición de la trampa de grasa.

➤ Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

El humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con dimensiones 2.4m x 1.8m x 0.40m consta de una lámina de grava de 0.25m.



Figura 15. Humedal artificial.

Dentro del humedal artificial se encuentra un sistema de tuberías de entrada y salida del agua. Como sistema de entrada de las aguas grises se tiene un distribuidor horizontal perforado el cual consta de 2 tubos de PVC de 2 pulgadas de 0.60m de largo (Figura 15) conectado a una Tee de 2 pulgadas de diámetro con un tubo en cada extremo, esto para garantizar que el flujo de agua sea uniforme en todo el sistema.



Figura 16. Distribuidor de entrada para aguas residuales.

Para el sistema de drenaje de salida se tiene un sistema de forma de sifón (Figura 16) para que el agua pueda fluir libremente y a la ves tener un tiempo de retención dentro del humeral.



Figura 17. Sistema de drenaje de salida del humedal artificial.

➤ Punto de vertido de agua tratada

Como etapa final del sistema de tratamiento de aguas grises se tiene una tubería de vertido de PVC de 2 pulgadas de diámetro con un largo de 6m la cual realiza el vertido hacia un barril metálico de capacidad de 55 galones el cual se encuentra en el interior de una fosa de captación de dimensiones 3m x 1.5m x 0.5m.



Figura 18. Etapa de vertido del agua tratada, etapa final del sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **7.2 Fase 2 Recuperación.**

Como resultado de todas las actividades descritas en el apartado 6.4.2 se obtuvo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con un humedal artificial de flujo subsuperficial (Figura 19) funcional y listo para comenzar a realizar la depuración y estabilización de las aguas residuales.



Figura 19. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal posterior a las actividades de recuperación.

### **7.3 Fase 3 Monitoreo.**

Para poder determinar si el sistema funciona y el agua que ingresa circula normalmente, se llenó el sistema de tratamiento de aguas residuales con una gran cantidad de agua y así verificar que se realizara con normalidad la función del tratamiento de aguas grises.

Una vez determinado que el sistema de tratamiento de aguas grises funcionara normalmente se toman las muestras según lo establecido en la metodología (página 36).

La toma de las tres unidades que componen una muestra se realizó según el flujo del efluente de agua y en los puntos establecidos en base al apartado denominado “**Fase 3 Sistema de Monitoreo**”.

El orden de muestreo se realiza de la siguiente forma: tubería de entrada de agua desde el lavadero (muestra 1), trampa de grasa (muestra 2) y por último la tubería de vertido de agua tratada (muestra 3) esto con el propósito de tener parámetros de medición dentro de todas las etapas del tratamiento de aguas grises.

Como se estableció anteriormente; los datos proporcionados por la sonda multiparamétrica para las 3 unidades de muestra en el primer muestreo realizado a los 15 días de finalizada la recuperación del sistema son los siguientes:

Tabla 3. Parámetros obtenidos de las muestras tomadas en el sistema de tratamiento de aguas a los primeros 15 días.

MUESTRAS	PARÁMETROS					
	Sonda 1: PHC101		Sonda 2: CDC401		Sonda 3: LDO101	
	Ta	pH	CE	STD	OD	
	°C		μS/cm	mg/l	mg/l	%
1	25.7	6.5	1175	562	0.83	11.3
2	25.2	6.76	1090	517	1.32	18.3
3	26.7	6.70	942	442	2.68	37.4

Gráfico 1. valores obtenidos de pH en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.

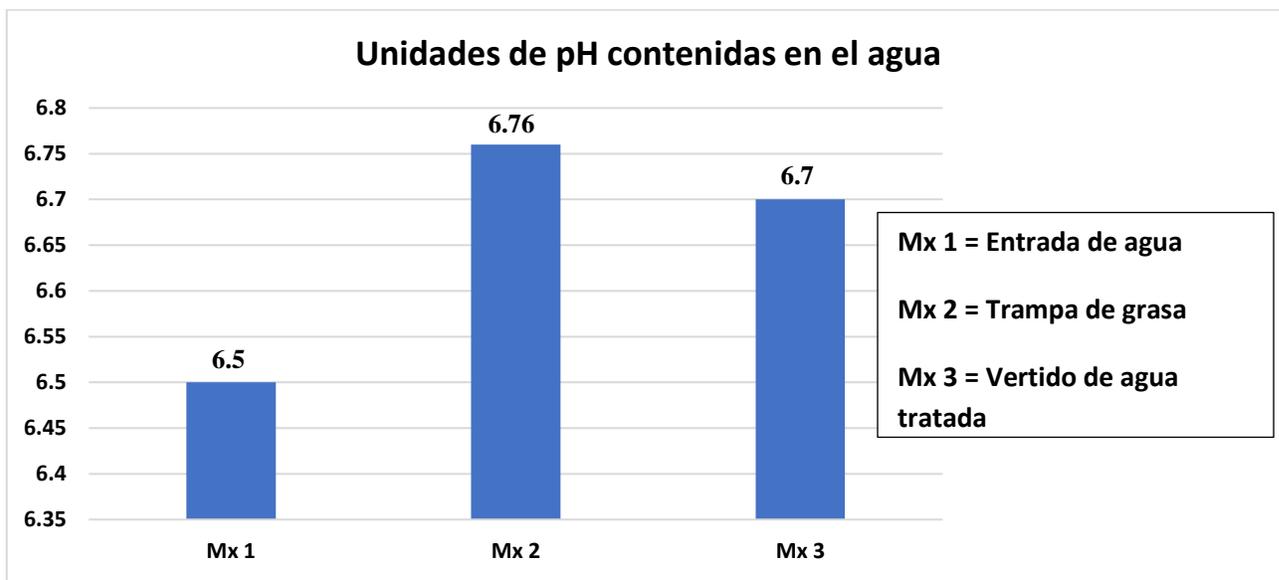


Gráfico 2. valores obtenidos de Sólidos Totales Disueltos en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.

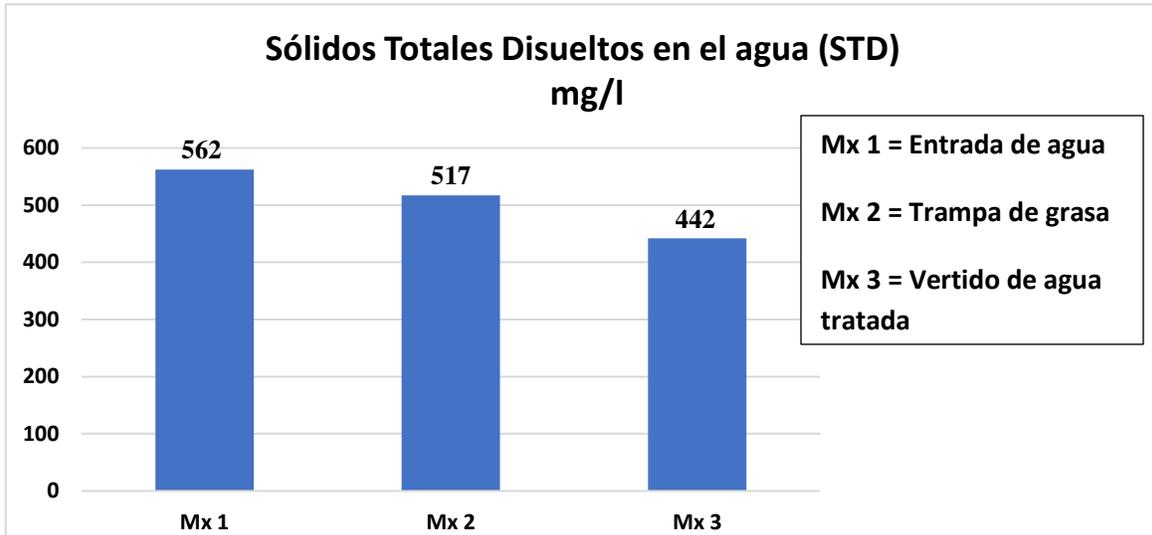
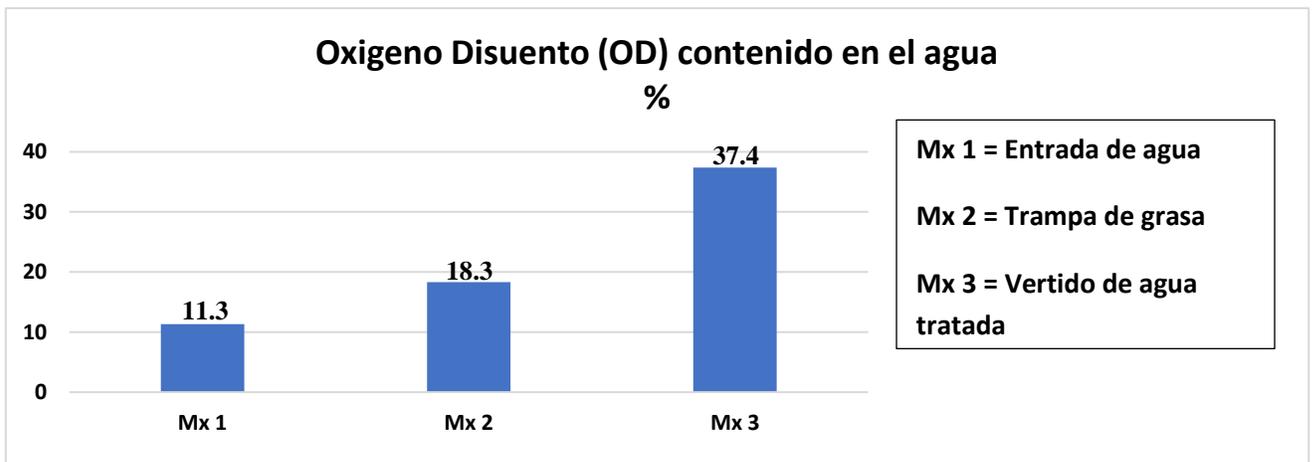


Gráfico 3. valores obtenidos de Oxígeno disuelto en el agua por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.



El monitoreo por medio de la sonda multiparamétrica nos indica variaciones en los datos que dicha sonda nos puede proporcionar; sin embargo, para poder darnos cuenta de la capacidad de depuración del sistema de tratamiento de aguas residuales realizamos una comparación entre los datos proporcionados enfocados en el pH, Sólidos Totales Disueltos y Oxígeno disuelto ya que son datos que podemos encontrarlos en el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018) como norma regulatoria.

Como podemos observar, las unidades de pH van desde los 6.5 hasta los 6.76 como valor máximo, teniendo como valor de 6.7 para las aguas tratadas al final del sistema manteniéndose

así dentro del rango permisible para las aguas residuales según el RTS 2018 el cual es de 6.0 a 9.0 unidades de pH. En el caso de los sólidos totales disueltos se tienen valores de hasta 562 mg/L antes de un tratamiento de aguas residuales. Al finalizar la depuración realizada por el sistema el valor obtenido disminuye hasta 442 mg/L.; de igual forma podemos observarlo en el porcentaje de oxígeno disuelto presente tanto en las aguas grises que entran al sistema con una cantidad de 11.3% de oxígeno disuelto hasta un aumento presente en las aguas tratadas por el sistema con un valor de 37.4% lo que indica una mejora en la calidad de agua tratada y podemos decir que hay una efectividad dentro de la función de depuración que realiza el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal utilizado dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la segunda toma de muestra realizada a los 30 días de finalizada la recuperación de sistema de tratamiento de aguas, los datos proporcionados por la sonda multiparamétrica son:

Tabla 4. Parámetros obtenidos de las muestras tomadas en el sistema de tratamiento de aguas a los 30 días.

MUESTRAS	PARÁMETROS					
	Sond 1: PHC101		Sonda 2: CDC401		Sonda 3: LDO101	
	°T	pH	CE	STD	OD	
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	%
<b>1</b>	25.5	6.83	974	469	0.83	11.3
<b>2</b>	24.8	6.73	928	452	0.35	4.7
<b>3</b>	24.1	6.60	879	434	2.83	38.3

Como se realizó según lo establecido para la primera toma de muestras, determinamos la capacidad de depuración del sistema de tratamiento de aguas residuales en base a aquellos datos que nos proporciona la sonda multiparamétrica y que se encuentran en el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 15.05.01:18).

Gráfico 4. valores obtenidos de pH en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.

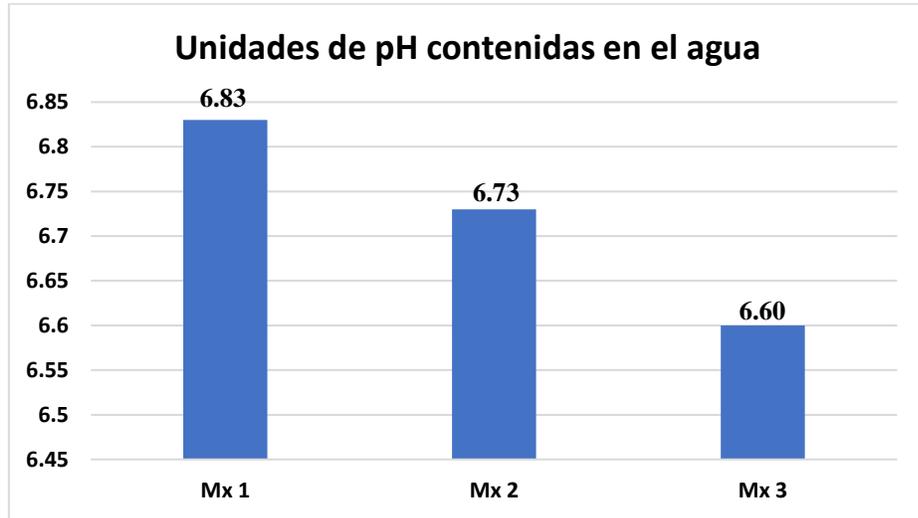


Gráfico 5. valores obtenidos de Sólidos Totales Disueltos en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.

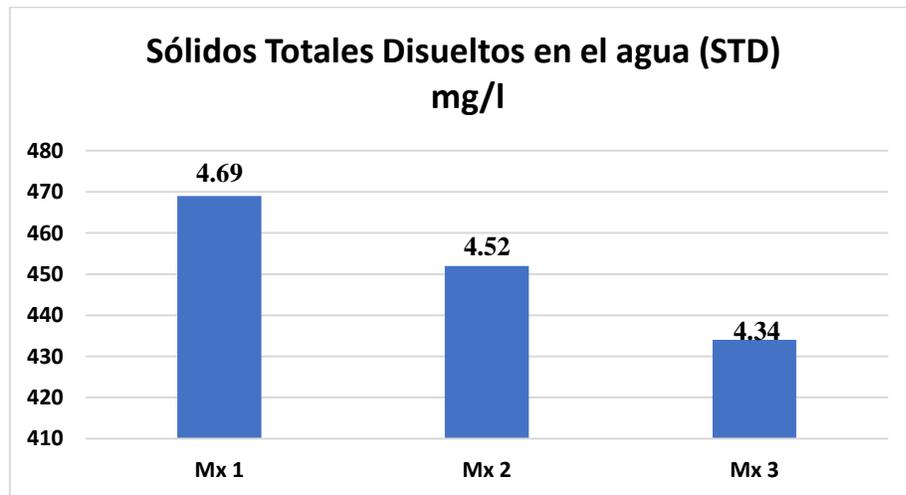
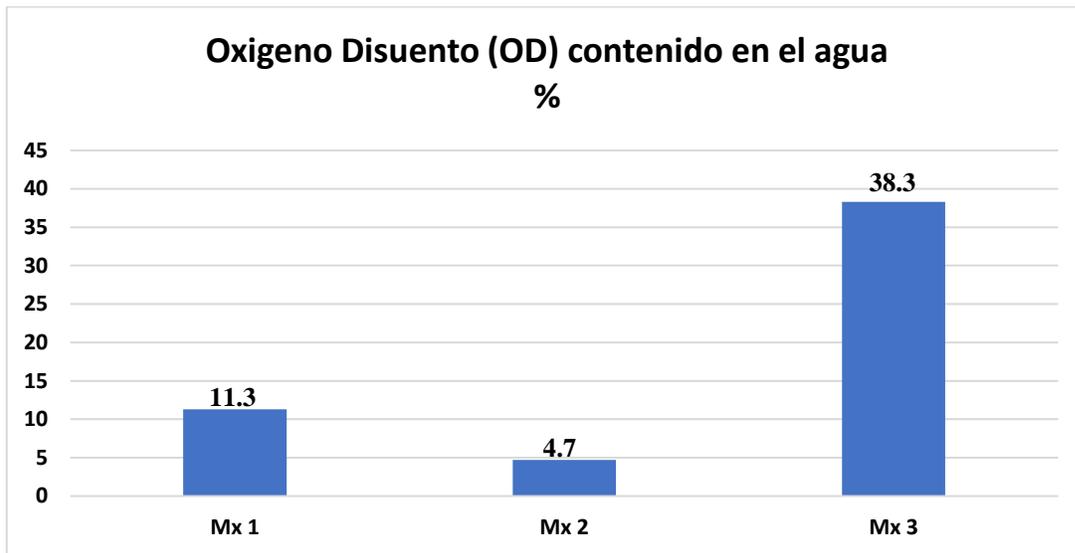


Gráfico 6. valores obtenidos de Sólidos Totales Disueltos en aguas por medio del monitoreo con sonda multiparamétrica.



Como se observa para el caso de las unidades de pH presentes en las aguas tanto grises como aguas tratadas se mantiene dentro del rango establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 15.05.01:18) el cual va desde 6.0 hasta 9.0.

El comportamiento de los valores obtenidos presente en las aguas grises y aguas tratadas se puede observar que hay una disminución en la concentración de sólidos totales disueltos y el oxígeno disuelto desde la muestra 1 que representa la entrada de agua desde el lavadero hasta los obtenidos en la muestra 3 que representa el vertido de agua tratada; lo que nos indica que el sistema de tratamiento de aguas residuales mantiene su característica de depuración de las aguas grises.

#### **7.4 Análisis de laboratorio**

Se realizan 2 muestreos los cuales son los puntos de entrada de aguas grises y salida de agua tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales; los datos proporcionados por medio del análisis de laboratorio muestran los parámetros de la calidad de agua que ha sido sometida a monitoreo durante un periodo de 30 días dichos parámetros se muestran a continuación:

Tabla 5. Parámetros proporcionados mediante el análisis de laboratorio.

Determinación fisicoquímica	Resultados muestra entrada	Resultados muestra salida	NORMA DE AGUAS RESIDUALES RTS 13.05.01:18 Límite máximo permitido
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L	500	52	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) mg/L	220	27	60
Sólidos sedimentables mg/L	200	<0.1	1
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	200	6	60
Aceites y Grasas mg/L	100	10	20

Fuente: Elaboración con base a resultados de laboratorio Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI, 2022).

Los resultados de los análisis de laboratorio nos proporcionan una comparación con el Reglamento Técnico Salvadoreño, el cual nos indica que las aguas grises sometidas a un sistema de tratamiento de aguas residuales son depuradas; y que la eficacia de depuración del sistema de tratamiento de aguas residuales con la utilización de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es eficaz, ya que los resultados obtenidos de las aguas tratadas generadas al final del sistema muestran rangos por debajo de los límites máximos permitidos.

esto da la pauta para que puedan destinarse al reúso las aguas tratadas generadas por el sistema de tratamiento de aguas residuales y maximizar el uso total del recurso hídrico presente en la finca.

## VIII. CONCLUSIONES

1. El establecimiento de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales implementando un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal es una excelente opción para el tratamiento de las aguas residuales ya que proporciona la capacidad de depuración necesaria de las aguas grises que se producen diariamente dentro de la Finca Flor de Lis ubicada en el Departamento de Santa Ana. Para garantizar que la continua depuración sea efectiva, se deben de llevar a cabo actividades de mantenimiento constantes, esto nos asegura que se mantengan las condiciones óptimas de sistema de tratamiento de aguas residuales.
2. Después de las actividades de recuperación llevadas a cabo al sistema de tratamiento de aguas grises establecido en la Finca Flor de Lis en Santa Ana se pudo determinar que los insumos y materiales utilizados como se describen en el apartado 7.1 denominado “Fase I Evaluación” (página 33) son eficaces en la depuración de aguas residuales.
3. Al finalizar las actividades de recuperación y establecer el sistema de tratamiento de aguas residuales de forma completamente funcional se pudo determinar que se crea una lámina efectiva de drenaje de 0.25m creando el tiempo de retención necesario para que se lleve a cabo una depuración efectiva de las aguas grises y se pueda realizar un reúso de dichas aguas para generar el mayor aprovechamiento del recurso hídrico.
4. El llevar un análisis de laboratorio de las aguas de vertido del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales y compararlos con el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS) en su versión RTS 13.05.01:18 se puede decir que existe una depuración eficaz de las aguas grises ya que dichas aguas poseen parámetros por debajo de los límites máximos permitidos para aguas vertidas en un medio receptor según lo indicado en la norma, lo que permite considerar actividades de reúso de las aguas tratadas y generar un aprovechamiento de todo el recurso hídrico utilizado por actividades cotidianas llevadas a cabo en La Finca Flor de Lis Ubicada en el Departamento de Santa Ana.

## **IX. BIBLIOGRAFIA**

- AGUASRESIDUALES.INFO. 2022. Aguas grises: origen, composición y tecnologías para su reciclaje (en línea, sitio web). Consultado 15 dic. 2022. Disponible en <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/aguas-grises-origen-composicion-y-tecnologias-para-su-reciclaje>
- Apuntes de Ingeniería Civil. Sf. Manual de Diseño de Trampas de Grasa. Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa (en línea, sitio web). Consultado 20 jul. 2022. Disponible en <http://apuntesdeingenieracivil.blogspot.com/2012/04/manual-de-diseno-trampas-de-grasa.html>
- Arteaga Cortez, VM. 2018. Propuesta metodológica para la construcción de humedales artificiales (en línea). Tesis Dr. En Ciencias. Texcoco. México. Colegio de Postgraduados (CP). 7p. Consultado 11 dic. 2022. Disponible en <https://www.biopasos.com/biblioteca/Propuesta-metodologica-construccions-humedales-artificiales.pdf>
- ASIA (Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos); OPS (Organización Panamericana de la Salud); OMS (Organización Mundial de la Salud). 2015. Propuesta de Reglamento Técnico Salvadoreño para el diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para la zona rural (en línea). San Salvador. El Salvador. p. 27-31. Consultado 20 jul. 2022. Disponible en <https://www.paho.org/els/dmdocuments/BORRADOR%20TRATAMIENTO%20AGUAS%20RESIDUALES%20V-6.pdf%20>
- CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua). 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. CAPITULO IV Humedales artificiales (en línea). Andalucía. España. 25-26 p. Consultado 01 dic. 2022. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/275940602\\_Manual\\_de\\_tecnologias\\_no\\_convencionales\\_para\\_la\\_depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_Humedales\\_Artificiales](https://www.researchgate.net/publication/275940602_Manual_de_tecnologias_no_convencionales_para_la_depuracion_de_aguas_residuales_Humedales_Artificiales)
- ECURED (Enciclopedia Cubana en la Red). Sf. Tratamiento de aguas residuales (en línea, sitio web). Habana. Cuba. Consultado 21 jul. 2022. Disponible en [https://www.ecured.cu/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales)

F&N (Fibras & Normas de Colombia S.A.S.). 2020. Aguas residuales: Clasificación y Características (en línea, sitio web). Bucaramanga. Colombia. Consultado 20 jul. 2022. Disponible en <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/aguas-residuales-clasificacion-y-caracteristicas/>

Gómez Domínguez, RE; Palacios Díaz, LM; Sánchez Pérez, LE. 2009. Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas urbanas y ampliación del alcantarillado sanitario en zonas ubicadas a nor-oriente del casco urbano en el Municipio de Quezaltepeque, Departamento de La Libertad (en línea). Tesis Ing. Civil. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador (UES). Consultado 23 jul. 2022. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4134/1/Propuesta%20de%20planta%20de%20tratamiento%20para%20aguas%20residuales%20dom%C3%A9sticas%20urbanas%20y%20ampliaci%C3%B3n%20del%20alcantarillado%20sanitario%20en%20zonas%20ubicadas%20al%20noro- oriente%20del%20casco%20urbano%20en%20el%20municipio%20de%20Quezaltepequ e%2C%20departamento%20de%20La%20Libertad.pdf>

HidroPlayasEP. 2020. Trampa de grasas (en línea, sitio web). Guayaquil. Ecuador. Consultado 20 jul. 2022. Disponible en <http://hidroplayas.gob.ec/leydetransparencia/trampasdegrasa.pdf>

iagua. 2020. Los Humedales Artificiales. Componentes y tipos (en línea, sitio web). Consultado 25 jul. 2022. Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

Menjivar Hernández, JE. 2021. Tratamiento y reúso de aguas grises en comunidades rurales de los municipios de Guacotecti y Victoria, Cabañas, con enfoque agroecológico para producción agrícola o huertos caseros. Tesina Ing. Agroindustrial, San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador (UES).

OPS (Organización Panamericana de la salud, Estados Unidos). 2003. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial (en línea). Washinton DC. Estados Unidos. Consultado 23 ago. 2021. Disponible en [Buscar - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud \(paho.org\)](#).

- Oropeza Burelo, VM. 2004. Parque reserva, Península del Carrizal. Tratamiento de aguas residuales (en línea). Capítulo IV. Tesis Lic. En Arquitectura. Cholula. Puebla. México. Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). Consultado 26 jul. 2022. Disponible en [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lar/oropeza\\_b\\_vm/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/)
- R. S. Remalho. 1996. Tratamiento de Aguas Residuales (en línea). Quebec. Canadá. 10p. consultado 22 jul. 2022. Disponible en <https://books.google.com/sv/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&dq=aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjTt92Bx77qAhXJct8KHaJ3C8kQ6AEwAHoECAAOAg#v=onepage&q=aguas%20residuales&f=false>.
- RTS (Reglamento Técnico Salvadoreño). 2018. AGUA, AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES (en línea). RTS 13.05.01:18. San Salvador. El Salvador. Consultado 20 jul. 2022. Disponible en <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/marn/documents/1587/download>
- Tata, CG. 1980. Instalaciones sanitarias (en línea). 14 p. Mérida. Venezuela. Consultado 29 jul. 202. Disponible en <https://www.libreriaingeniero.com/2020/01/instalaciones-sanitarias-gustavo-tata.html>
- UCR (Universidad de Costa Rica). 2022. Humedal artificial: una propuesta para el manejo de aguas residuales (en línea, sitio web). Costa Rica. Consultado 04 oct. 2022. Disponible es <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/02/15/humedal-artificial-una-propuesta-para-el-manejo-de-aguas-residuales.html#:~:text=Los%20humedales%20artificiales%20son%20sistemas,se%20filtre%20en%20el%20subsuelo>.
- UDEP (Universidad de Piura). Sf. Naturaleza del agua residual doméstica y su tratamiento (en línea, sitio web). Piura y Lima. Perú. Consultado 23 jul. 2022. Disponible en [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_135\\_183\\_88\\_1242.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)
- Vásquez J. 2005. Uso y tratamiento de aguas grises. Tecnologías de reusó (en línea) ed. 12. Piura, Perú. Universidad de Piura. Consultado 18 ago. 2021. Disponible en

<https://www.construccionyvivienda.com/2020/05/27/tratamiento-y-reuso-de-aguas-residuales-alternativas-para-cada-industria/>.

## X. ANEXOS



Anexo 1. Condición inicial del humedal artificial con exceso de presencia de Camote, Ipomoea batatas.



Anexo 2. Levantamiento de la lámina de grava mezclada con barro



Anexo 3. Lavado de grava llena de barro



Anexo 4. Limpieza de distribuidores del humedal



Anexo 5. Condición inicial de la caja de sedimentación



Anexo 6. Dilución de 100 ml de Eficaz en 3 Galones de agua.



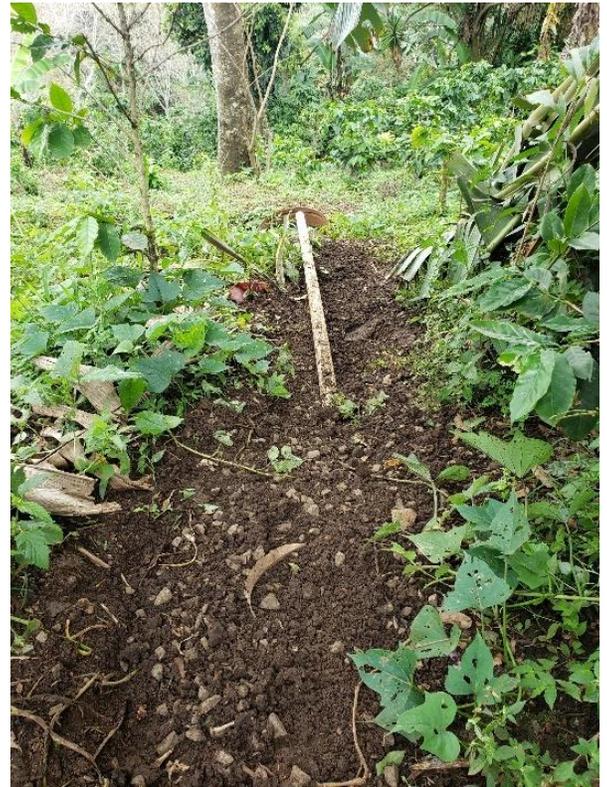
Anexo 7. Vertido de biorremediador Eficaz en la trampa de grasas



Anexo 8. Llenado del humedal artificial con grava lavada y grava nueva



Anexo 9. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal al finalizar las actividades de recuperación.



Anexo 10. Tubería de vertido reparada.



Anexo 11. Aplicación biorremediador Eficaz al humedal artificial



Anexo 12. Aplicación en sistema radicular de biopotenciador en forma de Bioesferas.



Anexo 13. Producto Eficaz como prueba piloto de aplicación de Biorremediador.



Anexo 14. Establecimiento de plantas de Ginger (Alpinia purpurata).



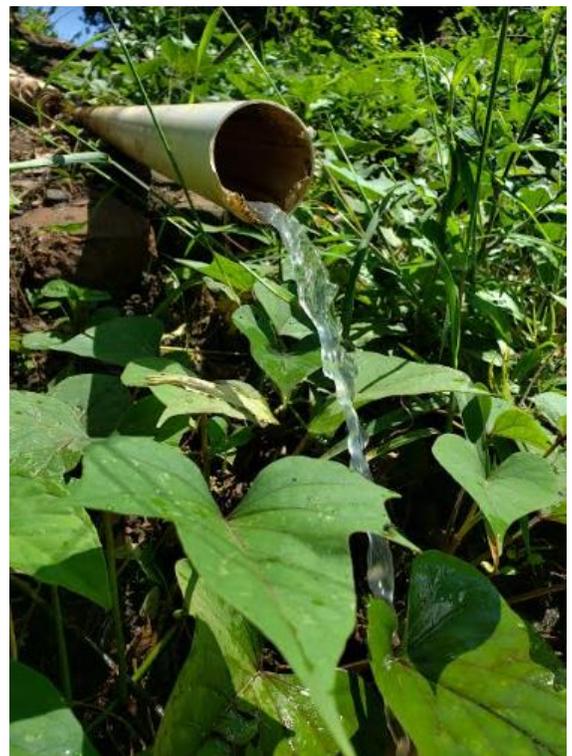
Anexo 15. Medición de parámetros por medio de Sonda Multiparamétrica.



Anexo 16. Establecimiento del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.



Anexo 17. Condiciones del agua que ingresa al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por medio de la trampa de grasas.



Anexo 18. Condición del agua luego del proceso de depuración por parte de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.



Anexo 19. recipientes para toma de muestra para análisis de laboratorio.

**GUÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS EN LA FINCA FLOR DE LIS PARA LA ELABORACIÓN DE TESINA DENOMINADA "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EMPLEANDO UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN LA FINCA FLOR DE LIS, SANTA ANA."**

**CUESTIONARIO**

1. Origen del agua residual
  
2. Clasificación de las aguas residuales
  
3. ¿Existe sistema de tratamiento de aguas residuales actualmente?, describa:

Anexo 20. Muestra de encuesta realizada a productor para conocimiento de las condiciones del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales implementado en Finca Flor de Lis.

**REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO**

**RTS 13.05.01:18**

**5.2.2.** El titular que realice combinación o la mezcla de aguas residuales especiales de diferentes actividades, o mezcla de aguas residuales especiales con aguas residuales de tipo ordinario debe reportar todos los parámetros básicos más los parámetros específicos correspondientes a cada actividad. Si el caudal de aguas residuales con límites más restrictivos es mayor del 30 % del caudal combinado, el titular debe cumplir con los límites establecidos para el tipo de agua residual más restrictivo.

**5.3. Límites permisibles de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a medio receptor**

Las aguas residuales de tipo ordinario, previo a ser vertidas al medio receptor, deben cumplir con las disposiciones de la Ley de Medio Ambiente y sus Reglamentos, además debe cumplir los límites permisibles establecidos en la Tabla 2. de este RTS.

**Tabla 2. Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite permisible</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	60
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	60
Sólidos Sedimentables (SS)	mL/L	1
Aceites y Grasas	mg/L	20
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6.0 - 9.0
Coliformes fecales	NMP/100 mL	Reportar
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> /día	Reportar
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Reportar

Fuente: elaboración propia del MARN

Anexo 21. Parámetros establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 para aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor.

## NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

**Tabla 1. Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.**

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO	150	60	1	60	20

Anexo 22. Parámetros establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 para aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor.

PARÁMETROS	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno Disuelto	Temperatura (T°)	pH	Sólidos Totales Disueltos
UNIDAD DE MEDIDA	μS/cm	Mg/l %	°C		Mg/l

Anexo 23. Parámetros obtenidos de la medición de aguas vertidas por medio de Sonda Multiparamétrica.

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA AGUA RESIDUALES RTS 13.05.01:18** Límite Máximo Permitido	METODO DE ANALISIS***
Demanda Química de Oxígeno (DQO)* mg/L	52	150	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 5220 D 23rd. Edition 2017
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)* mg/L	27	60	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 5210 B 23rd. Edition 2017. Prueba de 5 días.
Sólidos Sedimentables* ml/l	<0.1	1	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 2540F 23rd. Edition 2017.
Sólidos Suspendidos Totales* mg/L	6	60	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation 2540D 23rd. Edition 2017.
Aceites y Grasas* mg/L	10	20	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation 5520D 23rd. Edition 2017

\*Análisis y muestreo acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

\*\*Reglamento Técnico Salvadoreño RTS13.05.01:18, Aguas. Aguas residuales, parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales. Tabla 2 Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor.

\*\*\*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

mg/l: miligramos por litro

ml/L: mililitro por litro

Todos los análisis solicitados se realizaron en las instalaciones del CCCI.

Anexo 24. Resultado de aguas tratadas por medio de análisis de laboratorio realizado a aguas grises. Análisis llevado a cabo por Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V.