

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**TESINA:**

**RESTAURACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA  
PRODUCCIÓN CUNÍCOLA, EMPLEANDO LA TECNOLOGÍA DE  
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL, EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL, UES**

**POR:**

**JOSÉ TOBÍAS MENJIVAR HERNÁNDEZ**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA, 2023.**

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



**TESINA:**

**“RESTAURACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN CUNÍCOLA, EMPLEANDO LA TECNOLOGÍA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL, UES”**

**POR:**

**JOSÉ TOBÍAS MENJIVAR HERNÁNDEZ**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA, 2023.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL**

MSc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DECANO**

DR. FRANCISCO LARA ASECIO

**SECRETARIO**

ING. AGR. MSc. BALMORE MARTINEZ SIERRA

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

ING. MSc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

**ASESOR DIRECTO**

ING. MSc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

ING. AGR. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

ING. MSc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

ING. MSc. CARLOS ARMANDO VILLALTA

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION**

ING. AGR. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

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 Agrónomo**

### **Comité de Tesina**

---

Ing. Agr. MSc. José Mauricio Tejada Asensio  
Tutor de Tesina

---

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

---

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

## **DEDICATORIA**

**A Nuestro Padre Celestial:** señor te agradezco por permitirme llegar hasta aquí y poder terminar mi carrera y formarme como profesional, ya que tú tienes el control y sabes todo, gracias por permitirme conocer gente que en el camino me ayudo, gracias por mi familia que estuvo presente apoyándome y alentándome a seguir adelante, gracias por todas esas cosas de la vida que fueron buenas o malas y que de una u otra manera me ayudan a bien y a crecer como persona.

**A mis queridos Padres:** por la ayuda brindada por tantos años para que yo pudiera culminar mis estudios y por todo el esfuerzo físico y económico invertido que realizaron con el objetivo de que me formará como una persona de bien, con valores y principios inculcados durante toda mi vida que me facilitaron el crecimiento y desarrollo como persona. Gracias por ayudarme a cumplir el objetivo que nos propusimos de finalizar mi carrera como profesional, gracias a ellos que me brindaron todas las herramientas que estaban a su alcance y disposición que sin dudarlo me brindaron.

**A los docentes:** durante mi formación como profesional tuve una cantidad de docentes que apoyaron de una u otra forma para que siguiera adelante en la carrera proporcionando las bases prácticas y didácticas que me servirán para desempeñarme en el ámbito laboral ya que la ética y el profesionalismo de cada uno de ellos es formar profesionales técnicos y capaces de ejecutar correctamente las labores, trabajos o actividades en la que nos desempeñamos como agrónomos.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Nuestro Padre Celestial:** gracias a él que nos ayudaba desde arriba en el camino largo y complicado para cumplir la meta fijada, gracias por guardar nuestra salida y entrada de nuestro hogar, gracias por permitirnos terminar la carrera ya que en el camino existieron muchas dificultades de diferentes ámbitos de mi vida, gracias por permanecer conmigo y mi familia cuidándonos y protegiéndonos de cualquier mal.

**A mis queridos Padres:** gracias por apoyarme en cada una de las etapas de mi vida como persona, gracias por estar presente y brindarme todo su apoyo moral y económico para que yo pudiera crecer como profesional, gracias por alentarme a seguir adelante y no desmayar bajo los obstáculos que se atravesaron en el camino.

**Al docente Ingeniero José Tejada:** por brindar el apoyo justo y necesario en el desarrollo del curso de especialización sacando de las dudas que surgen en las temáticas y de apoyar de forma técnica como asesor de mi tesina, brindando los conceptos e información base para ejecutar correctamente el trabajo y especializarse más en el área de estudio.

**A mis amigos:** gracias por brindar apoyo en los momentos difíciles y apoyarnos como amigos para que todos saliéramos adelante y pudiéramos terminar la carrera y lograr graduarnos como Ingenieros Agrónomos.

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA .....	i
AUTORIDADES .....	ii
TRIBUNAL CALIFICADOR.....	iii
COMITÉ DE TESINA.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de gráficos .....	x
Índice de anexos.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
4.1 Objetivo General .....	3
4.2 Objetivos específicos .....	3
IV. ESTADO DEL ARTE.....	4
4.1 Evolución del tratamiento de aguas residuales.....	4
4.2 Utilización de plantas en humedales superficiales para tratar las aguas residuales .....	4
4.3 Desarrollo de estrategias para el tratamiento de aguas residuales.....	5
4.4 Experiencia en El Salvador .....	5
4.5 Experiencia de otros países en el tratamiento de aguas residuales.....	6
4.6 Explotación cunícola En El Salvador.....	8
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	9
5.1 Aguas residuales de uso agrícola .....	9
5.2 Componentes químicos del estiércol de conejo .....	9
5.3 Componentes Biológicos del estiércol de conejo.....	10
5.4 Componentes químicos de la orina de conejo.....	10
5.5 Parámetros de clasificación de agua para riego agrícola.....	11
5.6 Parámetros biológicos de clasificación de agua para riego agrícola .....	13
5.7 Parámetros físicos-químicos de clasificación de agua para riego agrícola .....	15
5.8 Marco legislativos .....	19
5.9 Tratamiento de aguas residuales en el sector agrícola .....	24

5.10 Clasificación de los Humedales artificiales.....	24
5.11 Componentes estructurales del humedal artificial de flujo superficiales .....	27
5.12 Componentes de los humedales artificiales de flujo superficiales .....	28
5.13 Funciones que cumplen los humedales artificiales .....	33
5.14 Algunas de las ventajas y desventajas de los humedales FS.....	34
VI. METODOLOGÍA .....	36
6.1 Metodología de oficina .....	36
6.2 Descripción del lugar .....	36
6.3 Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.....	38
6.4 Fase de campo.....	40
6.5 Mantenimiento del área de estudio.....	41
6.6 Descripción del método de muestreo .....	42
6.7 Análisis de datos .....	42
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	43
7.1 Descripción del humedal.....	43
7.2 Proceso de reactivación del humedal .....	45
7.3 Monitoreo con sonda multiparamétrica.....	46
7.4 Parámetros determinados con la sonda multiparamétrica .....	47
7.5 Parámetros determinados bajo análisis de laboratorio .....	55
7.6 Análisis comparativo de los lineamientos permitidos según el RTS y El Decreto número 50.....	57
7.8 Legislación Salvadoreña .....	58
7.9 Análisis de Eficiencia según los parámetros obtenidos.....	59
VIII. CONCLUSIONES.....	61
IX. BIBLIOGRAFÍA .....	62
X. ANEXOS.....	70

### **Índice de tablas**

Tabla 1. Análisis químico de los componentes encontrados en el estiércol de conejo .....	9
Tabla 2. Conteo de microorganismos en cuatro digeridos líquidos a 45 días de fermentación. ....	10
Tabla 3. Parámetros para clasificar el agua de acuerdo con su nivel de salinidad y sodicidad.....	11
Tabla 4. Muestra los niveles de microorganismos patógenos presentes en el lixiviado .....	13
Tabla 5. Indicadores de contaminación fecal presentes en el lixiviado. ....	14
Tabla 6. Riesgos químicos y biológicos asociados con el uso de aguas residuales sin tratar .....	14
Tabla 7. Normas deseables para aguas crudas superficiales .....	21
Tabla 8. Normas de calidad deseables en aguas para irrigación .....	22
Tabla 9. Límites permisibles de parámetros básicos de calidad de aguas residuales de tipo especial .....	23

Tabla 10. Resultados del pH del agua .....	47
Tabla 11. Resultados de la temperatura.....	49
Tabla 12. Resultados del parámetro de Conductividad eléctrica .....	50
Tabla 13. Resultados del parámetro Solidos totales disueltos.....	51
Tabla 14. Resultados del parámetro Oxígeno disuelto.....	53

### **Índice de figuras**

Figura 1. Biojardinera de Santa Marta, Cabañas, El Salvador. ....	6
Figura 2. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial. ....	6
Figura 3. Divisiones de los humedales artificiales en función de la carga orgánica y tipo de vegetación...24	
Figura 4. Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal. ....	25
Figura 5. Humedal subsuperficial de flujo vertical. ....	26
Figura 6. Humedal artificial de flujo libre o superficial. ....	27
Figura 7. Diferencias entre plantas flotantes y emergentes usadas en HAFS. ....	31
Figura 8. Morfología de Lechuga de agua. ....	32
Figura 9. Mapa de la Estación Experimental y de Prácticas, UES.....	37
Figura 10. Vista satelital de la Estación Experimental y de Prácticas, UES. ....	38
Figura 11. Diagrama General de la producción cunícola en la Estación Experimental .....	44
Figura 12. Diagrama del Humedal Artificial de Flujo Superficial para tratar el agua residual.....	45
Figura 13. Humedal, Estación Experimental, UES. 2022 .....	46
Figura 14. Mantenimiento previo a toma de datos. 2022 .....	46
Figura 15. Muestras de los diferentes puntos. 2022 .....	47
Figura 16. Uso de la sonda multiparamétrica. 2022.....	47
Figura 17. Uso del cono Imhoff para determinar sólidos sedimentables. 2022 .....	54
Figura 18. Toma de muestras para análisis de DBO5 y Coliformes Fecales. 2022. ....	55
Figura 19. Muestras tomadas a la entrada al sistema de tratamiento de agua. 2022 .....	56
Figura 20. Muestras tomadas a la salida del sistema de tratamiento de agua. 2022.....	56

### **Índice de gráficos**

Grafica 1. Datos del pH tomado en campo .....	48
Grafica 2. Datos del parámetro de temperatura.....	49
Grafica 3. Datos del parámetro de Conductividad eléctrica.....	51
Grafica 4. Datos paramétricos de STD.....	52
Grafica 5. Datos del parámetro Oxígeno disuelto .....	53

### **Índice de anexos**

Anexo A1. Instalación cunícola, Estación Experimental y de prácticas, UES.....	70
Anexo A2. Canal principal de desagüe de las aguas residuales. ....	70
Anexo A3. Preparación del producto eficaz como tratador de las aguas residuales. ....	71
Anexo A4. Toma de muestras para análisis de los parámetros utilizando la sonda multiparamétrica.....	71
Anexo A6. Toma de datos en campo de los parámetros medidos con la sonda multiparamétrica.....	72
Anexo A7. Toma de muestras para análisis de laboratorio de Coliformes Fecales y DBO5 .....	72
Anexo B1. Parámetros obtenidos de las aguas tratadas en el humedal artificial de la sonda N° 1 .....	73
Anexo B2. Parámetros obtenidos de las aguas tratadas en el humedal artificial de la sonda N° 2 .....	73
Anexo B3. Parámetros obtenidos de las aguas tratadas en el humedal artificial de la sonda N° 3 .....	74
Anexo C1. Resultados de los análisis de las muestras para determinar Coliformes Fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno a la Entrada al sistema de tratamiento. ....	75
Anexo C2. Resultados de los análisis de las muestras para determinar Coliformes Fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno a la Salida del sistema. ....	76
Anexo C3. Cálculo de la eficiencia de los parámetros muestreados. ....	77

## **RESUMEN**

Esta Tesina consiste en la evaluación del tratamiento dado a las aguas residuales procedentes de la producción cunícola de la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad De El Salvador ubicada en San Luis Talpa, Departamento de La Paz. Para conocer la eficacia en el tratamiento de las aguas residuales del humedal artificial para ello se hizo un muestreo y se comparó la calidad del agua utilizándose los siguientes parámetros temperatura, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, pH del agua, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y solidos sedimentables para cuantificar si cumple los limites permisibles establecidos en la Legislación Nacional, específicamente del Decreto N° 50 que es el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección y RTS 13.05.01:18. Al comparar los resultados obtenidos en campo contra las normas del Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18. Indica para aguas vertidas y sus calidades, obteniéndose resultados que cumplen con los limites permisibles permitidos de los parámetros muestreados para poder ser vertidas las aguas en un medio receptor, sin embargo, es necesario realizar análisis más profundos con resultados a mediano y largo plazo que nos permitan determinar si las aguas son aptas para considerarse como una alternativa con potencial de aprovechamiento determinadas por El Estado en su Decreto N° 50.

Palabras clave: Humedal Artificial, Aguas residuales, Agroecología, Tratamiento de agua.

## **ABSTRACT**

This Thesis consists of the evaluation of the treatment given to wastewater from the rabbit production of the Experimental and Practice Station of the Universidad De El Salvador located in San Luis Talpa, Department of La Paz. In order to know the efficiency in the treatment of wastewater from the artificial wetland, for this purpose, a sampling was carried out and the water quality was compared using the following parameters: temperature, fecal coliforms, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, water pH, electrical conductivity , total dissolved solids, settleable solids to quantify if it complies with the permissible limits established in the National Legislation, specifically Decree No. 50, which is the Regulation on Water Quality, Discharge Control and Protection Zones and RTS 13.05.01 :18. When comparing the results obtained in the field against what the Salvadoran Technical Regulation 13.05.01:18. Indicates for discharged water and its qualities, obtaining results that comply with the permissible limits allowed. Of the sampled parameters to be able to discharge the water in a receiving environment, however, it is necessary to carry out more in-depth analyzes with results in the medium and long term that allow us to allow determining if the waters are suitable to be considered as an alternative with potential use determined by the State in its Decree No. 50.

## I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se ve seriamente afectada en forma negativa en el sistema ambiental en el que es vaciada. Se trata de agua que no tiene valor inmediato, ni para el propósito por el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. Según la UNESCO (2017). El 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, siendo uno de los grandes desafíos del agua. Es por ello por lo que esta tesina tiene como objetivo principal Evaluar la eficacia del humedal artificial de flujo superficial para tratar las aguas residuales procedentes de la producción Cunicola. Como medida para gestionar las aguas residuales de una manera más inteligente, mediante la reutilización y recuperación del recurso, y se analiza la forma de tratamiento en humedales artificiales como alternativa viable para generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías tanto a corto como a largo plazo.

Este trabajo de investigación restauró y evaluó el humedal artificial de flujo superficial de la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad De El Salvador ubicado en San Luis Talpa, Departamento de La Paz. Que es utilizado para tratar las aguas residuales procedentes de la producción cunicola para ver si evita la contaminación de los vertidos al medio ambiente, utilizando alternativas sustentables como lo son los métodos empleados en la agroecología.

Para lograr generar una tecnología sustentable y que el agua residual resultante no perjudique las condiciones ambientales existentes y sirva adecuadamente como tecnología para nuestros pequeños y grandes productores cunicolas y para tener una base científica y técnica nos auxiliamos de la Legislación Nacional como lo es el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 13.05.01:18), el Decreto N° 50 (Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección) que establecen los rangos permisibles de parámetros físicos, químicos y biológicos para respaldar la calidad de agua obtenida o vertida al medio ambiente.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad del agua constituye uno de los principales desafíos socioambientales en El Salvador. La contaminación del agua se profundizó durante las últimas décadas y pasó a constituir un problema generalizado para la población y los ecosistemas. Las escasas iniciativas y propuestas existentes para enfrentar la contaminación del agua y monitorear la calidad del recurso hídrico, a menudo se ven limitadas por la ausencia de una política y compromisos institucionales capaces de encauzar más eficazmente esos esfuerzos por enfrentar esa problemática en el país (PRISMA 2001).

Las aguas residuales provenientes de sistemas de tratamiento constituyen un desecho líquido, generado por las actividades hechas en campo, las cuales pueden considerarse como una alternativa con potencial de aprovechamiento. Es por ello, que El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales bajo el proceso de evaluación ambiental pide a las instituciones públicas y privadas realizar estudios de calidad de agua residuales tratadas para respaldar su potencial.

La problemática surge a raíz de garantizar el cumplimiento de la normativa en beneficio del medio ambiente y la posibilidad de ser reutilizada a futuro bajo otras investigaciones realizadas, el agua residual proveniente de la producción pecuaria específicamente las granjas cunícolas generan una cantidad de excretas que se consideran un desecho líquido que contiene una gran cantidad de agentes patógenos y materia orgánica y otras sustancias que favorecen la contaminación del agua e imposibilitan el uso de esta para otras labores.

En base a lo antes mencionado se plantea la siguiente interrogante:

¿Es eficaz la implementación de tecnologías como el humedal artificial de flujo superficial para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la producción Cunícola, empleada en la Estación Experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad De El Salvador?

### **III. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo General**

Restaurar el humedal artificial de flujo superficial y Evaluar la eficacia de esta tecnología empleada en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la producción Cunicola de la Estación Experimental y de Prácticas, UES.

#### **4.2 Objetivos específicos**

- Restaurar el proceso que se lleva a cabo para dar tratamiento de aguas residuales al emplear la tecnología de humedal artificial de flujo superficial en la Estación Experimental, de la Universidad De El Salvador.
- Muestrear con la ayuda de una sonda multiparamétrica y análisis de laboratorio la calidad del agua residual que genera la conejera y contrastar los parámetros técnicos con los datos obtenidos de las muestras y así determinar el cumplimiento de la normativa salvadoreña.
- Evaluar la eficiencia de la tecnología empleada y establecer los parámetros técnicos Nacionales en cuanto a la calidad del agua vertida al Medio Ambiente.

## **IV. ESTADO DEL ARTE**

### **4.1 Evolución del tratamiento de aguas residuales**

La utilización de humedales artificiales para la recepción de aguas se remonta a comienzos del siglo. Las ciénagas, humedales y tuberías se concibieron como los mejores receptores de aguas residuales (OPS/OMS 1999).

El empleo de humedales para el tratamiento de las aguas residuales tiene su origen en los trabajos de K. Seidel, del Max Planck Institute en Alemania, en los años de 1974, en una localidad alemana, donde se construyó el primer humedal artificial europeo a escala real. En los años 80, se comenzó a emplear como medios filtrantes gravillas y gravas, con el objetivo de garantizar la adecuada conductividad hidráulica y minimizar los riesgos de colmatación del sustrato, lo que condujo a un auge en la implantación de este tipo de tecnología. (Rodríguez, J., et al. 2007).

### **4.2 Utilización de plantas en humedales superficiales para tratar las aguas residuales**

Las primeras exploraciones con macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales, según Crites y Tchobanoglous citados por Bolaños y Aguirre, se llevaron a cabo en la década de los 70's en el centro espacial de la National and Space Administration -NASA-, como potencial sistema de tratamiento de aguas residuales en viajes espaciales. La efectividad de las macrofitas flotantes en la depuración de aguas residuales con contenidos de materia orgánica y nutrientes ha sido estudiada por varios autores (Martelo y Lara 2012).

La fitorremediación es el uso de plantas y los microbios asociados para la limpieza del medio ambiente, ha ganado aceptación en los últimos 10 años como una alternativa o tecnología costo-efectiva, no invasiva complementaria para los métodos de recuperación basados en la ingeniería. Las ciudades y los centros de cría de animales son fuentes de aguas negras, caracterizadas por un alto poder contaminante (Ortega y Orellana 2007).

### **4.3 Desarrollo de estrategias para el tratamiento de aguas residuales**

En el año 2000, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá y la Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud (OPS-OMS) suscribieron un convenio para que el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente ejecutará durante 30 meses el Proyecto de Investigación Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial, cuyo objetivo general fue estudiar las experiencias de América Latina en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su uso sanitario en agricultura urbana para recomendar estrategias de diseño e implementación de estos sistemas integrados e identificar nuevas oportunidades (Veliz et al 2009).

### **4.4 Experiencia en El Salvador**

La tesina realizada en la comunidad rural de la colonia San Marcos, Municipio de Guacotecti y la comunidad rural de Santa Marta, Municipio de Victoria, Departamento de Cabañas, estudió los tratamientos empleados en las aguas grises enfocado en un tratamiento de biojardineras o humedales artificiales. Se pudo verificar que las tecnologías si cumplen con los componentes mínimos para ser eficaces en el tratamiento de las aguas grises, ya que poseen un pretratamiento mediante una serie de trampas de grasas, y un tratamiento biológico basado en un humedal artificial denominado también biojardinera, además, la tecnología es funcional debido al buen mantenimiento, lo cual se refleja en los parámetros de calidad medidos teniendo un buen perfil de agua con factibilidad para ser reutilizada en los huertos caseros (Menjivar 2021).



Figura 1. Biojardinera de Santa Marta, Cabañas, El Salvador.

Fuente: Universidad De El Salvador 2021.

#### **4.5 Experiencia de otros países en el tratamiento de aguas residuales**

##### **Colombia**

Según Lara y Vera (2005) Los humedales artificiales de flujo superficial son considerados una tecnología económica para tratar las aguas residuales urbanas y su potencial de aplicación al medio colombiano. El funcionamiento en su etapa inicial de un humedal de este tipo y está diseñado para servir a la Estación Experimental Javeriana en el municipio de Cogua, Cundinamarca, tratando las aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas y las aulas.



Figura 2. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial.

Fuente: Revista Javeriana 2005.

## **Ecuador**

Según Gutiérrez y Melara (2021) La remoción de materia orgánica mediante humedales artificiales es una técnica usada para tratar las aguas residuales bovinas. La investigación se realizó en el área de CIIDEA (Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario); las muestras fueron tomadas en los predios de la hacienda “Bella Aurora”

con el objetivo de remover la materia orgánica mediante humedales artificiales con pasto saboya (*Panicum máximum*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). La unidad experimental se conformó por dos humedales artificiales, cada humedal artificial tuvo tres repeticiones, en uno se trasplantaron 4 macollo de pasto saboya y en el otro 4 macollo de pasto elefante. El resultado obtenido de la muestra evaluada demostró diferencias significativas entre los tratamientos, al utilizar pastos saboya y elefante como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas, se logró reducción de un 36,79% mediante el pasto saboya y un 39,96% utilizando pasto elefante. Por lo que se podría sugerir esta técnica en futuras investigaciones debido a sus bajos costos.

## **Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México**

En las dos últimas décadas, los humedales artificiales han incrementado mundialmente su desarrollo para el tratamiento de aguas residuales. En general, las aguas residuales domésticas son los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales, que afecta de alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor cuando contiene características que la hacen inaceptable para el uso. En este contexto es necesario analizar las técnicas existentes de tratamiento de aguas residuales para que se apliquen criterios: ecológicos, económicos, técnicos y sociales, buscando la solución más apropiada y olvidando por completo los enfoques actuales y rutinarios basados casi exclusivamente en la depuración convencional una de las técnicas más sencillas de implementar son los humedales artificiales (HA) ya que requieren de poco personal operativo y el proceso de tratamiento en el agua residual involucra elementos que son provistos por la naturaleza (Marín *et al*, 2016).

#### **4.6 Explotación cunícola En El Salvador**

La explotación del conejo doméstico en el país, aún se encuentra en fases iniciales, debido, probablemente a la carencia de información o divulgación sobre este tipo de explotación. La actividad cunícola se consolida en 1984 esto se hizo con el interés de introducir la Carne de Conejo en el mercado como un producto de consumo masivo y a la vez para exhortar a que más personas se dediquen a esta actividad (Campos y Orellana 2009).

Sin embargo, este tipo de explotación genera una cantidad de desechos sólidos y líquidos que de una u otra manera afectan al medio ambiente por lo tanto debe dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales que se producen para que el impacto sea menor y de alguna forma se le pueda dar un reusó para maximizar los recursos existentes.

Por lo que, los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales de bajo costo, usando lo que la misma naturaleza posee. La acción de las macrofitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual del afluente es depurada progresiva y lentamente. El tratamiento de aguas residuales para depuración se realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución (Campos y Orellana 2009).

## V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Aguas residuales de uso agrícola

El uso de aguas residuales en la agricultura es una alternativa para el control de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y una alternativa para el control de la contaminación de estas, disponibilidad de agua y fertilización para cultivos, reciclaje de nutrientes y aumento de la producción agrícola. El método de riego localizado ha sido usado para la aplicación de aguas residuales debido a la elevada eficiencia de aplicación de efluentes y del bajo riesgo de contaminación del producto agrícola y de los operarios de campo (Oliveira et al 2009).

El concepto de calidad del agua se refiere a las características del agua que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario. El aprovechamiento de las aguas residuales con fines de reúso en agricultura supone poner especial atención a la calidad del agua, tanto desde el punto de vista agronómico, como desde el punto de vista microbiológico. Por lo antes mencionado, el elemento clave en el manejo del agua será la determinación previa de su calidad, principalmente con base en su origen y en una verificación a través de muestras de agua (MMAYA 2018).

### 5.2 Componentes químicos del estiércol de conejo

**Tabla 1.** Análisis químico de los componentes encontrados en el estiércol de conejo

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Materia seca %	26.0
Materia orgánica %	18.2
Nitrógeno total	9.5
Nitrógeno amoniacal	1.9
Magnesio (ppm/ kg materia seca)	322
Cobre (ppm/ kg materia seca)	65
Hierro (ppm/ kg materia seca)	2.000
Zinc (ppm/ kg materia seca)	472
Ph	5.27
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	14.38

STD (%)	7.27
Hum (%)	97.57
MO (%)	0.50
CO (%)	0.29
C/N	1.36

**Fuente:** Universidad autónoma de Barcelona (UAB) España.

### 5.3 Componentes Biológicos del estiércol de conejo

El Cuadro 2 presenta el conteo de microorganismos en los digeridos después de 45 días de fermentación. Se observan contenidos elevados de microorganismos, pero en niveles similares entre digeridos. Es de resaltar el mayor contenido de coliformes en el digerido de estiércol vacuno.

**Tabla 2.** Conteo de microorganismos en cuatro digeridos líquidos a 45 días de fermentación.

Digerido	Bacterias ácido - lácticas (UFC mL <sup>-1</sup> )	Levaduras (UFC mL <sup>-1</sup> )	Bacterias amilolíticas (UFC mL <sup>-1</sup> )	Coliformes totales (g 10 mL <sup>-1</sup> )
Conejo	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	4.0
Equino	2.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	4.0
Vacuno	1.00E+07	1.00E+07	1.50E+07	7.0
Ovino	1.00E+07	1.50E+07	1.00E+07	4.0

**Fuente:** Universidad Politécnica de Puebla (UPP) México.

### 5.4 Componentes químicos de la orina de conejo

Según Galaviz (2019). La orina es un líquido acuoso transparente y amarillento, de olor característico, secretado por los riñones y eliminado al exterior por el aparato urinario. La orina normal del conejo contiene un 96% de agua, un 4% de sólidos en solución y aproximadamente 20 gr de urea por litro. cerca de la mitad de los sólidos son urea, el principal producto de degradación del metabolismo de las proteínas. básicamente la composición de la orina en gr/ 100 ml de fluido es principalmente: Urea: 2.0 – ácido úrico: 0.05 – sales inorgánicas: 1.50

## 5.5 Parámetros de clasificación de agua para riego agrícola

### Dureza

La dureza viene determinada por el contenido de calcio y magnesio del agua. Dado que el calcio y el magnesio son nutrientes esenciales para las plantas, los niveles moderados de dureza de 100 a 150 mg/L se consideran ideales para el crecimiento de las plantas. Estos niveles de dureza también inhiben la corrosión del sistema de fontanería, pero no son lo suficientemente elevados como para provocar atascos graves por la formación de incrustaciones.

Las altas concentraciones de dureza por encima de 150 mg/L se acumulan en las superficies de contacto, taponan las tuberías y los conductos de riego. Estos niveles también pueden causar depósitos foliares de cal. La eliminación de la dureza mediante el uso de un ablandador de agua es necesaria sólo si el agua está causando problemas. El agua extremadamente blanda, por debajo de 50 mg/L, puede requerir una fertilización con calcio y magnesio (Swistock 2021).

### Sodicidad

Generalmente la sodicidad se expresa mediante la RAS (relación de adsorción de sodio). La RAS nos da idea del peligro potencial que significa un exceso de sodio sobre el calcio y magnesio. Sin embargo, la sodicidad puede expresarse también mediante la RAS ajustada, la cual toma en cuenta el contenido total de sales y la presencia de bicarbonatos, los cuales si no se eliminan pueden precipitar el calcio y esto coadyuva a que el problema del sodio se incremente. Tanto la RAS como la RAS ajustada se expresan en meq/L. La RAS ajustada es más precisa y recomendable al momento de clasificar el agua de riego en cuanto al riesgo de sodificación del suelo. La manera de resolver problemas por sodicidad es mediante la adición de calcio o formador de calcio, ya sea al suelo o al agua (INTAGRI 2018).

<b>Tabla 3.</b> Parámetros para clasificar el agua de acuerdo con su nivel de salinidad y sodicidad.				
Parámetros de calidad	Unidad	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo

Salinidad				
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	<0.7	0.7 a 3.0	>3.0
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	<450	450 a 2,000	>2,000
Sodicidad (Efecto sobre infiltración)		-----CE (dS/m)-----		
RAS= 0-3		>0.7	0.7 a 0.2	<0.2
RAS= 3-6		>1.2	1.2 a 0.3	<0.3
RAS= 6-12		>1.9	1.9 a 0.5	<0.5
RAS= 12-20		>2.9	2.9 a 1.3	<1.3
RAS= 20-40		>5.0	5.0 a 2.9	<2.9

**Fuente:** INTAGRI S.C. México

### **Carbonatos y bicarbonatos**

Estos compuestos al encontrarse en altas concentraciones deben ser eliminados mediante la adición de ácidos (sulfúrico, nítrico o fosfórico) hasta llegar a un pH de 6.0. Una forma práctica para hacer una curva de titulación y determinar la cantidad de ácido a utilizar consiste en utilizar 100 L de agua y a esta adicionar de 1 a 3 mL de ácido y medir el pH, esto se repite hasta obtener el valor deseado, al final se suma la cantidad de ácido utilizado. En base a eso se calcula la cantidad de ácido a utilizar por metro cúbico de agua.

### **Sólidos Totales Disueltos**

Es una medida de la materia en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micrones y no pueden ser removidos por un filtro tradicional. TDS es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltas en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua. TDS es clasificado como un contaminante secundario por la Agencia de Protección Ambiental de los EU (USEPA) y se sugiere un máximo de 500 mg/L en agua potable. Este estándar secundario se establece porque TDS elevado proporciona al agua una apariencia turbia y disminuye el sabor en ésta. TDS también pueden interferir con equipos de tratamiento y es importante considerarlo al instalar un sistema de tratamiento de agua (W. Adams 2012).

El valor de Sólidos Totales Disueltos debe estar entre 200 ml/l hasta 1,000 ml/l según los rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua adicionales a la normativa vigente con métodos convencionales de tratamiento (Decreto N° 50. 1987).

## **5.6 Parámetros biológicos de clasificación de agua para riego agrícola**

El uso de aguas residuales dependiendo del nivel de su tratamiento, puede transportar patógenos (virus, bacterias y protozoos) y presentan un riesgo para la salud cuando se aplican incorrectamente en la agricultura (Chahal et al., 2016).

### **Coliformes fecales**

Pueden provenir de aguas orgánicamente enriquecidas como efluentes industriales, de materias vegetales y suelos en descomposición. Comprende a los géneros de *Escherichia* y en menor grado *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (OMS 2006).

De acuerdo con el decreto 50 denominado Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección este parámetro debe rondar el promedio mensual de 50 a 5,000 NMP/100 ml (Decreto N° 50. 1987).

### **Coliformes totales**

Son bacterias que se encuentran en las heces de los seres humanos como también en animales domésticos y silvestres; asimismo, pueden encontrarse en el medio ambiente por ejemplo en aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición (OMS 2006).

**La Tabla 4.** Muestra los niveles de microorganismos patógenos presentes en el lixiviado producido durante el experimento. Estos resultaron elevados para el lixiviado obtenido en las variantes de estiércol vacuno, estiércol de conejo y estiércol de carnero, de acuerdo con lo reportado por la Organización Mundial para la Salud (OMS) en el año 2003, por la norma mexicana (NMX-FF-109- SCFI) del año 2007 y por la Norma Cubana (NC: 2013), donde se establecen a los coliformes fecales como indicadores de la calidad microbiológica de las aguas, recomendándose que la presencia de los mismos debe ser  $\leq 1000 \times 100 \text{ml}^{-1}$  para considerar el agua de riego de calidad para su uso (García et al 2014).

**Tabla 5.** Indicadores de contaminación fecal presentes en el lixiviado producido durante el sistema de lombricultura.

Lixiviados	Coliformes Totales	Coliformes fecales	Salmonella spp.
	NMPx100 ml-1		
Estiércol de vacuno	≥ 1600	≥ 1600	A
Estiércol de conejo	≥ 1600	≥ 1600	A
Estiércol de carnero	≥ 1600	≥ 1600	A
Pulpa de café	70	70	A

NMP: Número más probable. A: ausencia

**Fuente:** Revista Agrotecnia de Cuba.

### Bacterias

La bacteria más común en las aguas residuales es la Salmonella, estas se encuentran en la flora intestinal del ser humano como también en animales domésticos y silvestres. La infección bacteriana generalizada del hombre es la fiebre paratifoidea (Vargas 1996 citado por Rubén 2017).

**Tabla 6.** Riesgos químicos y biológicos asociados con el uso de aguas residuales sin tratar en la agricultura (Jaramillo y Restrepo 2017).

Tipo de riesgo		Patógeno
Biológico	Bacterias Helminfos Protozoos Virus Schistosoma	<i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Shigella</i> <i>spp.</i> <i>Ascaris</i> , <i>Ancylostoma</i> , <i>Tenia spp.</i> <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba spp.</i>
Químico	Sustancia de interés sanitario Metales pesados	Arsénico, cadmio, mercurio Dioxinas, Furanos, PCB Aldrin, DDT

**Fuente:** Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, México.

## 5.7 Parámetros físicos-químicos de clasificación de agua para riego agrícola

### El pH

Expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH del agua natural depende de la concentración de CO<sub>2</sub>. El pH de las aguas naturales se debe a la composición de los terrenos atravesados, el pH alcalino indica que los suelos son calizos y el pH ácido que son silíceos. Es un valor variable entre 0 y 14 que indica la acidez o la alcalinidad de una solución. Y, además, el mantenimiento del pH apropiado en el flujo del riego ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes en las líneas, un valor de pH elevado puede causar obstrucciones en los diferentes componentes de un sistema de fertirrigación debidas a la formación de precipitados, un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes. La reacción del suelo o pH del suelo afecta de modo significativo la disponibilidad y la asimilación de nutrientes y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del propio suelo.

En las aguas de riego según el decreto 50 denominado Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección. El pH normal es de 6.5 a 9.2 (Decreto N° 50. 1987). Mientras que el Reglamento Técnico Salvadoreño: agua. aguas residuales. parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales estipula que este parámetro debe estar entre el valor normal es de 6.0 a 9.0 (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018).

Las aguas con pH anormal pueden crear desequilibrios de nutrición o contener iones tóxicos que alterarían el crecimiento normal de la planta. El pH de la solución nutriente en contacto con las raíces puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas principalmente:

-El pH puede afectar la disponibilidad de los nutrientes: para que el aparato radical pueda absorber los distintos nutrientes, éstos obviamente deben estar disueltos. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas.

-El pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan unos rasgos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores

de pH es extrema, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (aluminio) (MINSA S. f).

### **Temperatura**

La temperatura es un parámetro físico que permite medir las sensaciones de calor y frío. Desde el punto de vista microscópico, la temperatura se considera representación de la energía cinética interna media de las moléculas que integran el cuerpo estudiado, en este caso el agua. Esta energía cinética se manifiesta en forma de agitación térmica, que resulta de la colisión entre las moléculas que forman el agua (Universidad de Madrid 2015).

Es importante conocer la temperatura del agua porque puede ayudar a predecir y confirmar otras condiciones del agua. La temperatura tiene influencia directa en otros factores de la calidad del agua tales como el oxígeno disuelto (OD), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la supervivencia de algunas especies biológicas. La temperatura puede afectar a los índices de reproducción de algunas especies acuáticas; algunas especies podrían dejar de reproducirse en aguas más calientes de lo habitual. En aguas más calientes puede aumentar la susceptibilidad de los organismos acuáticos a las enfermedades porque bacterias y otros organismos que causan enfermedades crecen con más rapidez en aguas cálidas (Universidad de Madrid 2015).

En las aguas de riego según el decreto 50 denominado Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección la temperatura normal es de los 5°C a 35 °C (Decreto N° 50. 1987). Mientras que el Reglamento Técnico Salvadoreño: agua. aguas residuales. parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales estipula que este parámetro la temperatura normal es de 20°C a 35°C (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018).

### **Oxígeno Disuelto**

Es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. La mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para sobrevivir y crecer. el oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. La unidad de mg/L representa miligramos por litro. La concentración en mg/L se refiere a veces como partes por millón (ppm) porque un litro equivale a 1000 gramos de agua dulce y un miligramo es una milésima parte de un gramo (Garcia 2019).

Según la Normativa de Agua por métodos convencionales de tratamiento, Decreto No. 50 el rango para Oxígeno Disuelto es de 4.0 a 6.5 mg/L (Decreto N° 50. 1987).

### **Sólidos Sedimentables**

Los sólidos sedimentables son el grupo de sólidos cuyos tamaños de partícula corresponde a 10 micras o más y que pueden sedimentar (Argandoña y Macías 2013).

En las aguas de riego según el decreto 50 denominado Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección este parámetro de Sólidos Sedimentables lo normal es de 500 ml/ L (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018).

### **La Conductividad Eléctrica**

Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la presencia de iones. Proviene de una base, un ácido o una sal, disociadas en iones. El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

Los rangos de valores según el Decreto 50 sobre Normativa de Agua por métodos convencionales de tratamiento para este valor va desde 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta los 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Decreto N° 50. 1987).

### **Los riesgos de un agua de riego con una alta Conductividad Eléctrica son:**

- Precipitación de sales: en la solución de riego con obstrucción de los goteros
- Daño al cultivo: por una solución demasiado concentrada en sales que produce interferencias en la absorción radical. Normalmente la concentración de sales es mayor dentro de la célula que en el agua del suelo. Si esto no ocurre, no se produce absorción de agua y la planta se marchita.
- Salinización del suelo (MINSA S. f).

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Es la calidad de oxígeno expresada en mg/l., necesaria para la degradación biológica de la materia orgánica contenida en el agua. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales, de uso agrícola y pecuario en general residuales. El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO<sub>5</sub> a 5 días. La determinación de este está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO<sub>5</sub> se emplean para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica (Rubén 2017).

Una comparativa de los valores obtenidos para los diferentes puntos que se van a muestrear los valores según el Decreto 50 sobre Normativa de Agua por métodos convencionales de tratamiento debe andar máximos mensuales de DBO<sub>5</sub> de 3.0 a 4.0 mg/ L (Decreto N° 50. 1987). Mientras que el Reglamento Técnico Salvadoreño: agua. aguas residuales. parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales estipula que este parámetro debe andar máximos de DBO<sub>5</sub> de 300 mg/ L (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018).

### **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno expresada en mg/l., necesario para la degradación química de la materia orgánica contenidas en aguas servidas o naturales, se mide en el laboratorio bajo condiciones determinadas. El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido tanto de las aguas naturales como de las residuales. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO<sub>5</sub>, siendo esto debido al mayor de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica (Marsilli, 2005 citado por Rubén 2017).

### **Cloro**

Presenta efectos tóxicos cuando se encuentra en altas concentraciones. Sin embargo, la susceptibilidad de los cultivos dependerá de la variedad que se utilice. Al igual que el sodio, es importante el sistema de riego debido a que el efecto negativo que causa el cloro en el follaje es de manera directa cuando se emplea riego por aspersión que cuando se utiliza riego por goteo.

## **Nitratos**

Aguas con altos niveles de este anión indican que debe reprogramarse la fertilización nitrogenada, reduciendo las cantidades y procurando balancear los otros nutrientes. También deben considerarse cultivos que no acumulen excesivamente este elemento en sus tejidos. De igual forma, es indicador de posibles problemas por taponamiento en tuberías por crecimiento de vegetación en ellos (INTAGRI 2018).

## **Fósforo (P)**

Los niveles de fósforo en las aguas subterráneas y en las aguas superficiales no contaminadas suelen ser muy bajos (menos de 1 mg/L). Los niveles más altos suelen indicar contaminación por escorrentía de fertilizantes o estiércol. Los niveles superiores a 5 mg/L pueden causar antagonismo y deficiencias en otros nutrientes. Las aguas residuales que se viertan a las aguas superficiales deben ser lo más bajas posible (lo deseable es menos de 1 mg/L) para reducir el impacto ambiental (Swistock 2021).

## **Potasio (K)**

Un nivel alto de potasio no suele ser preocupante para el crecimiento de las plantas. Los niveles superiores a 10 mg/L pueden indicar una contaminación del agua por parte de los fertilizantes o de otras fuentes artificiales. Las concentraciones en el agua son útiles simplemente para determinar los requisitos generales de fertilización para las plantas que reciben el agua de riego (Swistock 2021).

## **5.8 Marco legislativo**

Para efectos de esta investigación se debe amparar de la **Ley de Medio Ambiente Y Recursos Naturales De La Republica De El Salvador** en donde estipula lo siguiente:

La ley del medio ambiente en el artículo 3 del reglamento especial sobre el manejo integral de los desechos sólidos, no especifica la fuente de origen de los desechos sólidos, ni tampoco detalla categorías de estos. No existe una clasificación de cuáles desechos se consideran peligrosos y no peligrosos.

## **Vertido de solidos**

La legislación salvadoreña en el **Art. 5.** los denomina "desechos sólidos", y define de la siguiente forma:

**Contaminante:** toda materia, elemento, compuesto, sustancias, derivados químicos o biológicos, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos en cualquiera de sus estados físicos que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier otro elemento del ambiente, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad, poniendo en riesgo la salud de las personas y la preservación o conservación del ambiente.

**Desechos peligrosos:** cualquier material sin uso directo o descartado permanentemente que por su actividad química o por sus características corrosivas, reactivas, inflamables, tóxicas, explosivas, combustión espontánea, oxidante, infecciosas, bioacumulativas, ecotóxicas o radioactivas u otras características, que ocasionen peligro o ponen en riesgo la salud humana.

Además, **EL REGLAMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS ZONAS DE PROTECCION DECRETO No. 50.**

## **CONSIDERACIONES GENERALES:**

I.- Que siendo la salud de los habitantes un bien público reconocido por la Constitución de la República, deben dictarse normas reglamentarias que eviten, controlen o reduzcan la contaminación de los recursos hídricos.

II.- Que es misión del Estado mantener las mejores condiciones de calidad de los recursos hídricos de manera compatible con una política económica adecuada que aproveche, en lo posible, las condiciones de los medios receptores como agentes en los procesos de transporte y autodepuración de residuos.

Nos habla de lo siguiente en su **Título I** sobre **DISPOSICIONES FUNDAMENTALES**

Art. 5.-Para los fines de este Reglamento se establecen como objetivos de calidad los niveles físicos y biológicos necesarios para mantener, preservar o recuperar la calidad del recurso hídrico, de manera que no se interfiera con el uso previsto en los Planes Nacionales de desarrollo, aprovechamiento o protección de los recursos hídricos.

Art. 7.-Las condiciones a que deben sujetarse los vertidos de aguas residuales contaminantes se establecen de manera que se conserven los objetivos de calidad previamente establecidos, tomando en consideración el destino volumen, caudal, calidad y poder de autodepuración, tanto del vertido como del cuerpo de agua receptor.

Además, en su **Título IV** sobre **NORMAS SOBRE DEPURACION Y TRATAMIENTO DE AGUAS**

**Art. 35.-**Solamente se podrán efectuar descargas de residuos sólidos, líquidos o gaseosos, cuando de conformidad a los objetivos de calidad no se perjudiquen las condiciones fisicoquímicas y biológicas del medio acuático receptor.

**Tabla 7.** Normas deseables para aguas crudas superficiales que solamente requieren sistemas convencionales de tratamiento

<b>Parámetros</b>	<b>Rango de valores</b>
DBO <sub>5</sub> Promedio mensual (mg/L)	1.5 - 2.5
DBO <sub>5</sub> / muestra (mg/L)	3 - 4
Coliformes Promedio mensual (NMP/100)	500 a 5,000
OD (mg/L)	4.0 - 6.5
PH	6.5 - 9.2
Cloruros (mg/L)	50.0 - 250.0
Color (unidades)	20.0 150.00
Turbidez (unidades)	10.0 - 250.0
Fluoruros (mg/L)	1.5 - 3.0
Compuestos fenólicos (mg/L) 0.005	0.005
Sustancias Toxicas	ausentes

**Fuente:** Elaboración propia del MARN.

**Tabla 8.** Normas de calidad deseables en aguas para irrigación

<b>Parámetros</b>	<b>Rango de valores</b>
Conductividad (Mmhos x 10)	250 - 750
RAS (unidades)	0 - 10
CRS (meq/lt)	1.25
3/2 % SODIO (meq/lt)	30 - 60
BORO (meq/lt)	0.5 – 2.0
CLORUROS (mg/lt)	5.5
SULFATOS (MEQ/LT)	4.1

**Fuente:** Elaboración propia del MARN.

Y amparados en el **REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO: AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES.**

**EN SU LITERALES:**

### **1. OBJETO**

Establecer los límites permisibles para los parámetros de calidad de las aguas residuales y sus lodos, previo a su disposición final, así como los mecanismos y procedimientos técnicos para la gestión de estos; y contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

### **2. ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Aplica a toda actividad, obra o proyecto que realice gestión de las aguas residuales previo a la descarga a un medio receptor; así como el manejo de lodos residuales, independientemente de la procedencia y destino, ubicados en el territorio nacional.

### 3. DEFINICIONES

3.23. Límites permisibles: valores, rangos y concentraciones de los parámetros establecidos en este RTS y otras normativas vigentes que deben cumplir los responsables previos a su descarga, reúso o disposición.

3.39. Reúso o aprovechamiento de aguas residuales tratadas: aprovechamiento de un efluente de agua residual tratada antes o en el lugar de su descarga, que cumple con los niveles de calidad para cada uno de los usos previstos reglamentariamente, tomando en cuenta la protección al ser humano, medio ambiente y los diferentes procesos productivos.

### 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

5.6.4. Límites permisibles de parámetros básicos de calidad de aguas residuales de tipo especial vertida a medio receptor. Las aguas residuales de tipo especial, previo a ser vertidas al medio receptor, deben cumplir con la Ley de Medio Ambiente y sus Reglamentos, además debe cumplir con los límites establecidos en la Tabla 9. de este RTS.

**Tabla 9.** Límites permisibles de parámetros básicos de calidad de aguas residuales de tipo especial vertidas a medio receptor

No	Actividad	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)	Potencial de Hidrogeno (Unidades de pH)	Temperatura (°C)
6	Producción agropecuaria	600	300	150	50	6.0 – 9.0	20 - 35

**Fuente:** elaboración propia del MARN

## 5.9 Tratamiento de aguas residuales en el sector agrícola

### Fitorremediación

Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente. En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el suelo y agua al fijarlos en sus raíces y tallos, o metabolizándolos tal como lo hacen los microorganismos (Peña 2001 citado por Arias et al 2010).

En la búsqueda de una solución al problema de contaminación de los suelos y de las fuentes de agua por las descargas de las aguas residuales se puede utilizar o implementar un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales producto de la explotación de la actividad pecuaria. Dentro de las tecnologías que se utilizan en el mundo para el tratamiento de las aguas residuales los humedales artificiales ocupan un lugar importante ya que con ellos se busca aprovechar los procesos físicos, químicos y biológicos que se presentan al interactuar entre sí el agua, el medio filtrante, las plantas, los microorganismos y la atmósfera.

### 5.10 Clasificación de los Humedales artificiales

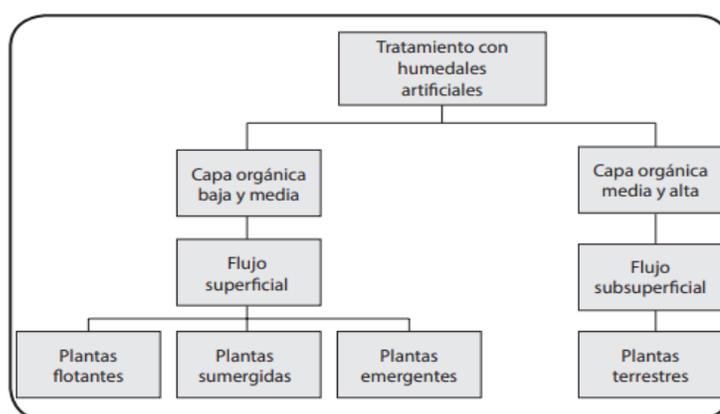


Figura 3. Divisiones de los humedales artificiales en función de la carga orgánica y tipo de vegetación.

Fuente: Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 2014.

### **Humedales Subsuperficiales de flujo horizontal**

En estos sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas, ingresando en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. La profundidad del lecho varía entre 0.45 m a 1 m y tiene una pendiente entre 0.5% a 1% (Ortiz 2014 citado por Morales y Castellanos 2018).

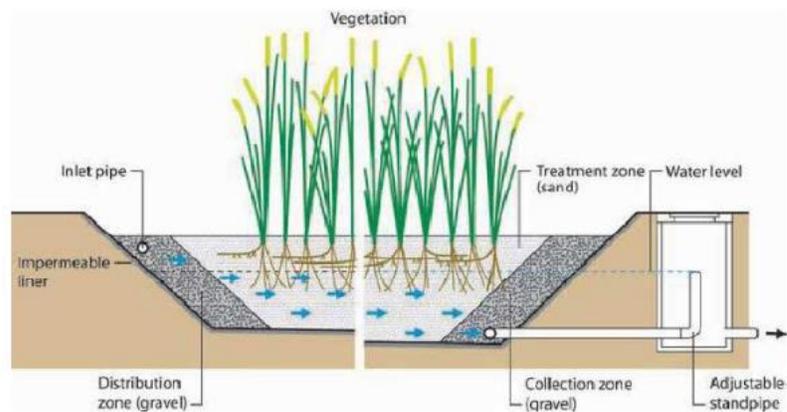


Figura 4. Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal.

Fuente: Agencia de Cooperación Internacional de Alemania (GIZ) 2011.

### **Humedales subsuperficiales de flujo vertical**

Este tipo de humedal recibe las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua. Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La vegetación emergente se planta también en este medio granular. La profundidad del medio granular está entre 0.5 y 0.8 m y operan con cargas alrededor de 20 a 40 g DBO/m<sup>2</sup> d, produciendo efluentes de mayor oxigenación y están libres de malos olores (Ortiz 2014 citado por Morales y Castellanos 2018).

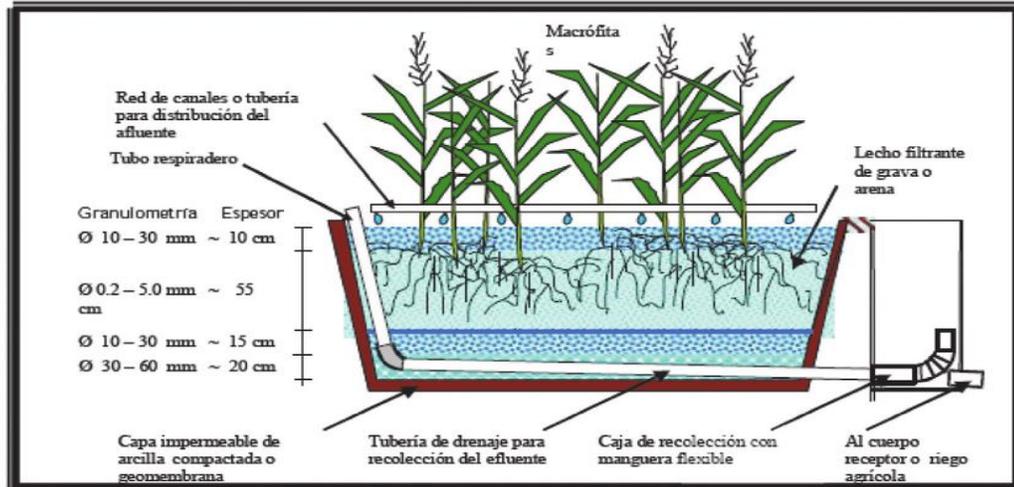


Figura 5. Humedal subsuperficial de flujo vertical.

Fuente: Universidad Autónoma Chapingo (CIEMA) 2016.

### Humedales artificiales de flujo libre o superficial

Los humedales artificiales de flujo superficial se pueden clasificar según el tipo de vegetación que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres.

#### Macrófitas fijas al sustrato (enraizadas)

Estas plantas son caracterizadas por crecer enraizadas en el fondo y sus hojas son expuestas a la superficie del agua. Comúnmente se usa el carrizo, junco y la totora, ya que se adaptan las raíces en el fondo o en una columna de grava (García y Beatriz 2021).

#### Macrófitas flotantes libres

El objetivo de este humedal es tratar de imitar los procesos naturales de un humedal natural, al ir fluyendo suavemente por el humedal, las partículas se asientan, se destruyen los patógenos, y finalmente los organismos y las plantas utilizan los nutrientes. En este caso las condiciones aerobias al estar el agua en contacto directo con la atmósfera. Estos tipos de humedales se utilizan para tratamientos secundarios y para crear o restaurar ecosistemas acuáticos (Arce 2018).

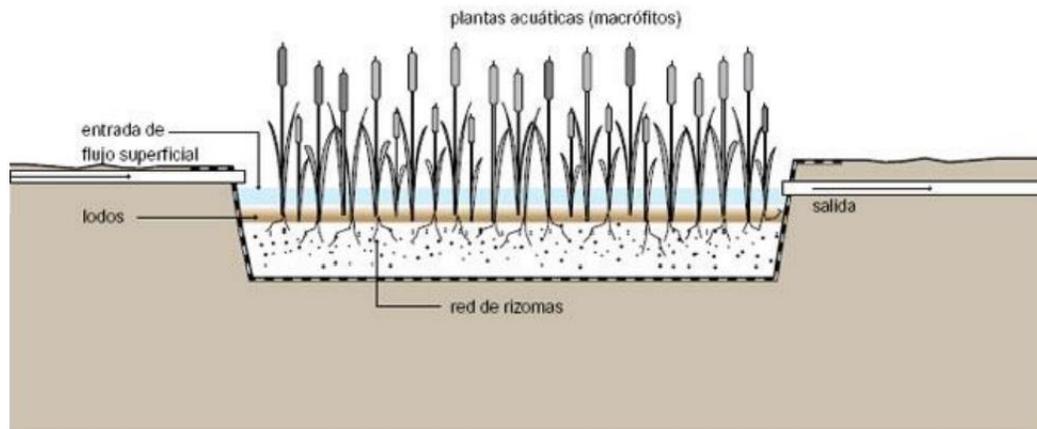


Figura 6. Humedal artificial de flujo libre o superficial.

Fuente: Fundación Universidad De América 2014.

### 5.11 Componentes estructurales del humedal artificial de flujo superficiales

#### Dimensiones

Tanto los espacios como las islas de tratamiento se diseñan de acuerdo con los tiempos de contacto y retención del agua. Se seleccionan los elementos que permitan generar el movimiento pausado por las islas para manejar el volumen, así como trazar los recorridos para reducir las velocidades.

#### Capacidad hidráulica

El humedal se diseña en función del caudal de agua que va a recibir. El humedal es un ser vivo por lo tanto es fundamental asegurar un suministro continuo y constante de agua con nutrientes para que el ecosistema pueda hacer sus procesos biológicos, si no se tiene, existe el riesgo de que el agua se quede estancada y termine generando putrefacción.

Este factor se define en función de la disponibilidad y calidad del agua a tratar. El diseño hidráulico se realiza para determinar la circulación del agua por las islas de tratamiento y el tiempo de retención que se requiere. Se agregan elementos para manejar el flujo como: canales, vertedores, cascadas, zonas de almacenamiento. La proyección física del sistema es diseñada para minimizar al máximo cortos circuitos y zonas muertas (Soluciones Hidropluviales 2018).

## **Canal principal**

En este tipo de estructuras el canal es el que lleva el agua con los sedimentos y son transportados por todo el sistema para depurar y eliminar grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, productos tóxicos a medida circula el agua por el humedal.

## **Rejas**

En este tipo de instalaciones el canal de desbaste es, generalmente, el primer proceso al que se somete el agua a tratar. Su función es la de eliminar los grandes sólidos mediante su intercepción con rejas. Estas, consisten en barras paralelas antepuestas al flujo, separadas uniformemente y se clasifican, según el tamaño de paso entre barrotes, en:

- Rejas de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 20 a 60 mm (valor normal entre 20 y 30 mm).
- Rejas de finos: el paso libre entre los barrotes es de 6 a 12 mm (valor normal 10 mm).

## **Tuberías de desagüe**

Es el conducto por el cual el agua previamente tratada en el sistema del humedal desemboca el agua que será reutilizada con otros fines ya que el agua lleva un nivel considerado de tratamiento para su aprovechamiento.

## **5.12 Componentes de los humedales artificiales de flujo superficiales**

### **Agua**

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal artificial por que reúne todas las funciones del humedal y a menudo es el factor primario en el éxito o fracaso del sistema. Algunas consideraciones importantes acerca de la hidrología de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales son:

-Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evotranspiración (Salazar y Morales 2003).

-La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero

obstruyendo los caminos de flujo siendo quebrado el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas y segundo bloqueando la exposición al sol y al viento (Lodoño y Marín 2009).

### **Sustrato**

También conocido como material granular o sustrato poroso, pueden ser: grava, roca, suelo, arena y materiales orgánicos. En este material se da la permanencia de microorganismos y el tiempo de retención hidráulica depende de las características de éste (Zúñiga del Canto 2004 citado por Dávila y López 2020).

#### **Según Rosa (2017). El sustrato tiene las siguientes características:**

- Soporte para el crecimiento de las plantas, suministrándoles parte del alimento necesario para su crecimiento.
- La granulometría del sustrato permite una buena remoción de sólidos suspendidos y de la parte orgánica.
- Lugar de desarrollo de bacterias.
- Tipos de sustrato: Arena gruesa (2 mm), arena gravosa (8 mm), grava fina (16 mm), grava media (32mm), piedra partida (128 mm), piedra volcánica.

### **Vegetación**

Las plantas son un componente esencial en el diseño y operación de un humedal construido ya que ayudan a eliminar metales pesados atrapándolos por las raíces y translocando la molécula mediante sus procesos metabólicos en moléculas más estables y menos peligrosas.

#### **Según Rosa (2017). La vegetación tiene las siguientes características:**

- Suministran oxígeno al suelo y mantienen un ambiente adecuado para el crecimiento de bacterias.
- La superficie de las raíces ofrece protección a los microorganismos.
- Mantienen la capacidad hidráulica del suelo.
- Consumen de nutrientes como (N y P).
- Concentran en sus tallos y hojas ciertos metales pesados.

### **Selección de la especie vegetal**

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia física en el sistema (los tallos, las raíces, y rizomas). En los humedales FWS las proporciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que se llama restos de vegetación. Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen:

### **Plantas emergentes**

Las plantas emergentes, con sus hojas largas erguidas, tienen una gran capacidad de fotosíntesis y crecimiento. Las especies emergentes más comunes son: Tule (*Typha sp*), Juncos (*Scirup sp*) y Carrizos (*Phragmites sp*) (Smith 1977 citado por Perez 2009).

***Typhas***: La espadaña se ubica en distribución robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, algunas tienen una relativa baja de penetración en grava de 0.3 m, por lo que es recomendable para sistemas SFS.

***Scirpus***: Son de la familia de las ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Los juncos son capaces de crecer bien en agua desde 5 cm a 3 m de profundidad, pueden crecer en grava hasta 0.6 m por lo que son muy utilizadas en SFS, las temperaturas deseables son 16-27°C, y un pH de 4-9

***Phragmites***: son anuales y con altos rizomas perennes extensos. Los sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno por los rizomas que penetran verticalmente más profundamente que las espadañas, pero menos que los juncos 0.4 m, esta especie posee poco valor alimenticio por lo cual no son atacadas por animales u otros tipos de plantas.

### **Plantas flotantes**

La productividad de las plantas flotantes enraizadas y las plantas flotantes libres es tan alta o mayor que la de las emergentes, y tiene la ventaja de que mientras éstas tienen menos tejidos respiratorios, poseen la habilidad de utilizar dióxido de carbono CO<sub>2</sub> foto-respirado, almacenado en los espacios llenos de aire (Perez 2009).

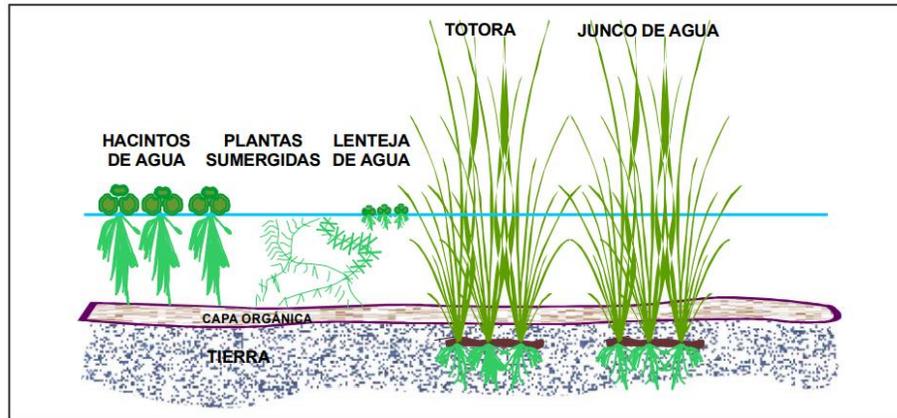


Figura 7. Diferencias entre plantas flotantes y emergentes usadas en humedales artificiales de flujo superficial.

Fuente: Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) 2006.

### **Jacinto Acuático (*Eichhornia crassipes*)**

Es una macrófitas acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce. Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerado como la maleza acuática.

Tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30°C de temperaturas medias, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15°C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As). Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Coronel 2016).

### **Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)**

Es una planta acuática de agua dulce flotante, con uno, dos o tres hojas cada uno, con una sola raíz colgando en el agua. La raíz es de 1-2 cm de largo. Se encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados.

La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5°C y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los 15°C y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación.

Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden, además, tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5 (Coronel 2016).



Figura 8. Morfología de Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*).

Fuente: Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental 2021.

## **Microorganismos**

Los microorganismos tienen un papel esencial que juegan en todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales a partir de las plantas. Ya sean aerobias o anaerobias, consumen la parte carbonada de las aguas servidas para transformarla principalmente en  $CO_2$  para las bacterias aerobias y también en metano para las bacterias anaerobias. Mientras sea posible mantener las condiciones secuenciales aerobias y anaerobias, las bacterias nitrificantes van a transformar el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos en las zonas aireadas y las bacterias denitrificantes van a permitir la transformación de los nitratos y nitritos en nitrógeno gaseoso en las zonas anaerobias.

Los microorganismos crean además paredes biológicas que facilitan la sedimentación de las partículas y juegan un papel importante en la remoción de sólidos suspendidos totales. Los microorganismos aerobios tendrán la tendencia en el largo plazo a disminuir la carga hidráulica del suelo, pero no son normalmente responsables de la colmatación. Un crecimiento grande de bacterias anaerobias puede ocasionar la completa colmatación del medio filtrante. El aporte de oxígeno exterior por convección o por difusión, con la ayuda de plantas para mantener un mínimo de oxígeno, permanece importante. Los microorganismos transforman los compuestos orgánicos

complejos en compuestos inorgánicos más simples como los ortofosfatos que precipitan más fácilmente (Lodoño y Marín 2009).

## **Fauna**

Está compuesta por diferentes especies de insectos y en menor medida aves, peces, anfibios y reptiles ocasionales. Los insectos juegan un papel importante en la cadena trófica y sirven de alimento a organismos superiores como aves y peces. Algunos insectos pueden ser plagas de la vegetación y otros molestos para el hombre (mosquitos).

Los humedales artificiales proporcionan hábitat para una gran diversidad de animales tanto vertebrados como invertebrados. Entre los invertebrados, destacan los insectos y los gusanos que contribuyen al proceso de depuración fragmentando el detritus y consumiendo materia orgánica. Las larvas de numerosos insectos consumen cantidades significativas de este material durante su estado larvario que puede durar algunos años. A pesar de que los invertebrados son los animales más importantes en lo que respecta a la mejora de la calidad de agua, en los humedales artificiales también se puede encontrar una gran variedad de anfibios, tortugas y pájaros (Rodríguez 2017).

### **5.13 Funciones que cumplen los humedales artificiales**

Según Rosa (2017). Los mecanismos por los cuales estos tipos de sistemas son capaces de depurar las aguas son:

1. La eliminación de sólidos suspendidos gracias a la filtración que sucede entre el sustrato y las raíces.
2. Eliminación de nitrógeno, esto se consigue por acción directa de las plantas, por procesos nitrificación-desnitrificación, los microorganismos son los que desarrollan este proceso.
3. Eliminación de materia orgánica, gracias a las bacterias (microorganismos).
4. Eliminación de fósforo, debido a los procesos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
5. Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato.

## **5.14 Algunas de las ventajas y desventajas de los humedales FS.**

### **Ventajas**

- Los humedales FS proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores calificados.
- Los humedales FS pueden ser menos costosos de construir, y usualmente también son menos costosos para operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento diseñados para un nivel equivalente de calidad de efluente.
- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas más fríos.
- La operación a nivel de tratamiento terciario avanzado es posible durante todo el año en climas cálidos o semicálidos. La configuración de los humedales FS proporciona una mayor protección térmica que los humedales FLS.
- Los FS son muy efectivos en la remoción de la DBO, la DQO, los SST, los metales y algunos compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles es también posible, pero se requiere un tiempo de retención mucho mayor.
- Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son un problema con los humedales FS mientras el sistema se opere adecuadamente y el nivel superficial de flujo se mantenga. También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.

### **Desventajas**

- Un humedal FS requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamiento.

- La remoción de DBO, DQO y nitrógeno en los humedales FS es un proceso continuo renovable. El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
- La mayoría del agua contenida en los humedales FS es anóxica, limitando el potencial de nitrificación del amoníaco del agua residual. El aumento del tamaño del humedal y el tiempo de retención puede hacerse como compensación, pero puede no ser eficiente en términos económicos. Métodos alternos de nitrificación en combinación con los humedales FS han sido utilizados con éxito.
- Los humedales FS no pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánicos, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos en el efluente.
- Los sistemas de humedales FS típicamente reducen al menos un orden de magnitud el contenido de coliformes fecales. Esto no es siempre suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente. La desinfección con luz ultravioleta ha sido utilizada con éxito en varias aplicaciones.

## **VI. METODOLOGÍA**

### **6.1 Metodología de oficina**

El desarrollo de este trabajo inicio con la selección del tema de investigación que fue elegido según los principales problemas que afectan a los productores cunícolas y uno de ellos es el tratamiento de aguas residuales, para buscar una alternativa viable que se fundamentara en la agroecología para no perturbar o seguir dañar el medio ambiente y la calidad de vida de los seres del entorno, esto, conforme al lugar donde se desarrollaría la investigación apoyándose del método científico para fundamentar de forma técnica la tecnología que se ira a emplear, además, de ser una alternativa rentable para el uso de nuestros productores, y esto a su vez quedaría plasmado en un formato de tesina para optar al grado de ingeniero agrónomo.

### **Visita al lugar**

Teniéndose el tema planteado y conociendo los detalles de la investigación se procede a hacer una visita al lugar para observar las características del área de trabajo, a comprender el funcionamiento para darle tratamiento adecuado al agua residual y con esta información, que contendrá este documento servirá como una opción viable para los pequeños y medianos productores de granjas cunícolas que mediante técnicas agroecológicas podrán evitar la contaminación de medios acuíferos con estas aguas y por lo tanto, ayudara a tener más opciones de tratamientos sencillos y poco costosos para mejorar tanto la calidad del ambiente y contribuyendo a la sostenibilidad del mismo.

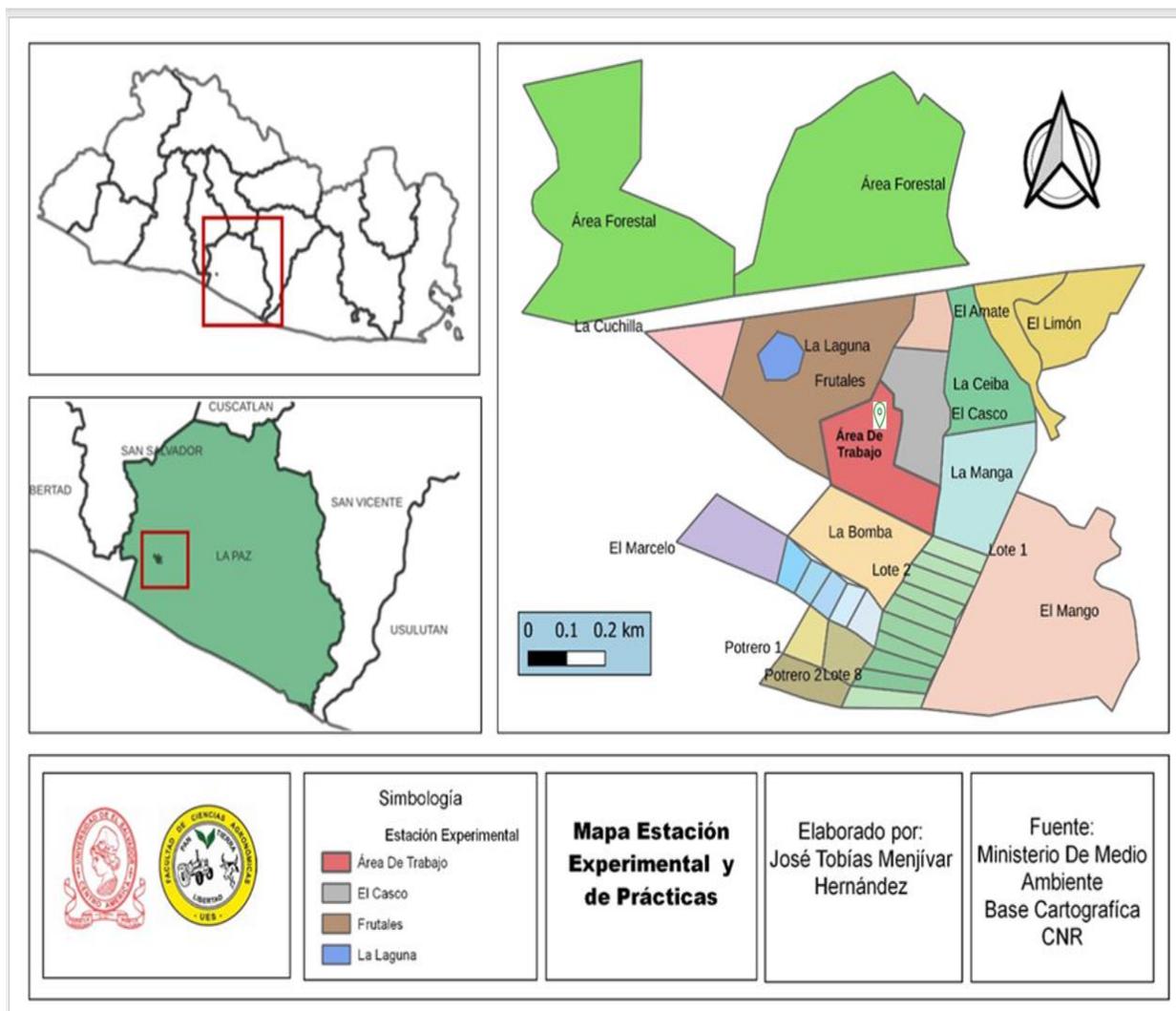
### **6.2 Descripción del lugar**

#### **Estación experimental**

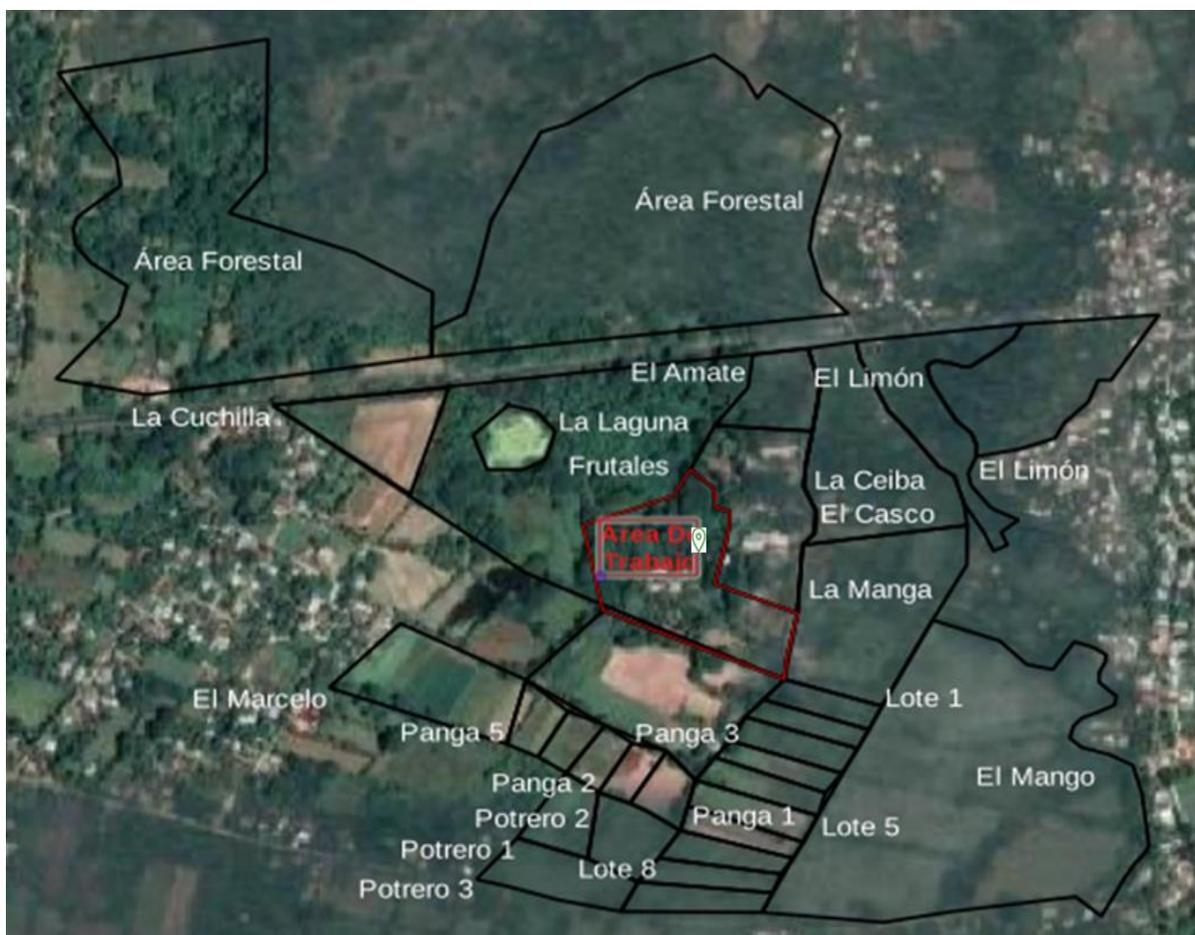
El Campo Experimental y de Prácticas cuenta con un área dedicada a la producción cunícola la cual utiliza un humedal artificial de flujo superficial para tratar el agua residual y este tiene coordenadas geográficas; 13°47'50" Latitud Norte, -89°09'62" Longitud Oeste. ubicado en el Municipio de San Luís Talpa, Departamento de la Paz.

## Clima y altura

La precipitación en la zona presenta un rango entre los 1500 a 1700 milímetros/ año. En cuanto a la temperatura media anual, en el área se presentan rangos entre los 28 a 33 grados centígrados, a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).



**Figura 9. Mapa de la Estación Experimental y de Prácticas, UES.**



**Figura 10. Vista satelital de la Estación Experimental y de Prácticas, UES.**

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

El desarrollo de esta investigación fue necesario el uso de equipos y materiales que facilitaron la recolección de información y que sería necesaria para dar un orden lógico y sistematizar el desarrollo de esta, llegándose a tener información confiable y concreta para dar un análisis lógico y certero de la información obtenida y estos materiales y equipos fueron los siguientes:

- **Cinta Métrica**

Esta herramienta nos permitió tomar medidas y conocer las dimensiones reales del humedal, identificando los diferentes componentes de este y el material con el cual estaban contruidos.

- **Sonda multiparamétrica**

Es un instrumento robusto diseñado para la monitorización de aguas a largo y corto plazo, así como

el control del agua superficial. Este instrumento monitoriza y registra los cambios de la calidad del agua y cuenta con sensores que son: Temperatura, Conductividad, pH y Contenido de oxígeno disuelto.

- **Depósitos de muestras**

Estos recipientes utilizados sirvieron para recolectar las muestras de las cuales se harían los análisis de agua para determinar algunos parámetros de calidad que servirían para contrastar los resultados obtenidos en la investigación.

- **Palas**

Es una herramienta agrícola que se empleó para remover suelo y hojarasca que obstruía el canal de desagüe del humedal artificial.

- **Corvos**

Esta herramienta fue de gran ayuda para limpiar el área de trabajo y mantener la maleza controlada para evitar problemas en el mantenimiento del humedal artificial.

- **Cubetas**

Permitió hacer las mezclas de agua con el producto agroecológico Eficaz y dispersar esa mezcla en el humedal como ayuda al tratamiento de las aguas residuales.

- **Cámara fotográfica**

La cámara fotográfica se utilizó en el desarrollo de esta investigación para registrar cada una de las actividades que se realizaban y tener un respaldo de las mismas, ya sean estas el mantenimiento semanal del humedal o la toma de muestras de agua para el análisis.

- **Computadora**

El equipo informático fue de gran ayuda en la redacción de cada uno de los apartados de esta tesina, así como para redactar y procesar toda la información referente a la investigación.

## 6.4 Fase de campo

### Información del área de estudio

Una vez se tenía definido el área de trabajo se procedió a evaluar el humedal de flujo superficial que está en funcionamiento y sirve para dar tratamiento a las aguas residuales procedentes de la producción cunícola de la estación experimental y de prácticas, con coordenadas 13°47'08" Latitud Norte, 89°09'17" Longitud Oeste y ejecutada esta investigación desde el mes de junio a octubre del presente año.

### VARIABLES QUE SE EVALUARON:

- **Coliformes fecales:** es un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales y que pueden causar enfermedades y contaminan el agua para conocer ese dato se llevaron muestras de agua a un laboratorio para los respectivos análisis.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas y fueron obtenidos los resultados mediante pruebas en laboratorio.
- **pH del agua:** es una medida de la concentración de iones hidrógeno en una solución, determina la solubilidad (cuánto puede disolverse en ella) y la biodisponibilidad (cuánto pueden consumir los organismos acuáticos) de sustancias químicas como nutrientes, para identificar este parámetro fue necesario el uso de una sonda multiparamétrica.
- **Conductividad eléctrica:** La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos.
- **Sólidos sedimentables:** es la cantidad de sólidos que se separaran de la muestra mediante sedimentación tras un periodo determinado de reposo, esta determinación se realiza mediante un vaso cónico especial denominado como Imhoff. Este es un parámetro de gran

importancia para las plantas de tratamiento, ya que determina la cantidad de lodos que se separaran de la corriente de agua residual. Para realizar este procedimiento se utilizó el cono Imhoff y su funcionamiento es simple solo se agrega el agua y por precipitación los sólidos caen en el fondo del cono y se determina que porcentaje del total contiene la materia orgánica en un lapso de una hora.

## **6.5 Mantenimiento del área de estudio**

### **Mantenimiento**

El mantenimiento son todas aquellas actividades que se deben realizar para que el humedal funcione correctamente entre las actividades que se realizan son:

#### **Limpieza de malezas**

Consiste en quitar la maleza que crece alrededor de donde está el humedal artificial esta labor se debe hacer con herramientas como el corvo o cumas para que se encuentre libre de obstrucciones y demás problemas que conlleva tener maleza y otro tipo de plantas.

#### **Remoción de excretas del canal de desagüe**

Esta actividad involucra remover el estiércol que queda atrapado en la reja de retención de sólidos gruesos esto se hace con una pala cuadrada ubicando el estiércol en el área donde se hará el compostaje para utilizarlo posteriormente en otras actividades agrícolas.

#### **Limpieza de las rejjas y del tubo de desagüe**

Para ambos casos lo que se hace es limpiar con agua para quitar el exceso de materia sólida que se encuentra en las rejjas y que pueda obstruir el funcionamiento del humedal o el tubo con el fin de evitar la colmatación. Su función es la de eliminar los grandes sólidos mediante su intersección con rejjas. Estas, consisten en barras paralelas antepuestas al flujo, separadas uniformemente y se clasifican, según el tamaño de paso entre barrotes, en:

- Rejas de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 20 a 60 mm (valor normal entre 20 y 30 mm).
- Rejas de finos: el paso libre entre los barrotes es de 6 a 12 mm (valor normal 10 mm).

## **6.6 Descripción del método de muestreo**

Este método consistió en sacar muestras del área de trabajo específicamente una muestra de la entrada del agua al sistema de tratamiento para determinar la cantidad de coliformes fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ). que contenía la muestra y otra muestra fue tomada de la salida del tratamiento.

## **Uso de sonda multiparamétrica**

En este caso se tomó muestras de diferentes puntos del sistema de tratamiento de las aguas en el humedal artificial como la entrada del agua al canal principal, la tubería de distribución, se tomó agua del estanque y agua del tubo de salida del sistema para posteriormente, tomar los parámetros de conductividad eléctrica, pH, Sólidos Totales Disueltos y Oxígeno disuelto con la ayuda de la sonda multiparamétrica que servirá para medir los resultados de esta investigación.

## **Repositorios para consultar**

Según el desarrollo de la investigación se necesita de fuentes confiable para recolectar la información para ello las fuentes de información se hizo en libros, artículos y revistas científicas, planes de manejo de instituciones, tesis o cualquier documento que sirva para recopilar la información y datos requeridos.

## **6.7 Análisis de datos**

Teniéndose los resultados de las muestras se analizaron posteriormente en base al decreto N° 50 que es el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección y RTS 13.05.01:18 denominado: Agua. Aguas Residuales. Parámetros De Calidad De Aguas Residuales Para Descarga Y Manejo De Lodos Residuales se pudieron emitir los análisis referidos a los resultados de las aguas muestreadas. Para ello fue necesario comparar esos resultados obtenidos en el campo contra lo que el RTS indica para poder ser vertidas las aguas en un medio receptor, y permitir determinar si las aguas son aptas para considerarse como una alternativa con potencial de aprovechamiento determinadas por El Estado en su Decreto N° 50

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1 Descripción del humedal

El humedal artificial de la Estación Experimental y de Prácticas se construyó en los años 2015 a 2016 a partir de la necesidad de dar un tratamiento a las aguas residuales que salían de la producción cunícola, este proyecto se realizó en el curso de Uso y Manejo del agua, del Departamento de Recursos Naturales, liderados por el Docente Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada Asencio; por lo que buscando una alternativa de tratamiento de aguas se diseñó un humedal artificial de flujo superficial “HAFS” ya que es un sistema en el cual el agua está expuesta a la atmósfera constituido principalmente con vegetación de macrofitas flotantes que mediante procesos físicos, químicos y biológicos el agua tratada resultante del proceso es apta para ser vertida a un medio receptor y este humedal funciona de la siguiente manera.

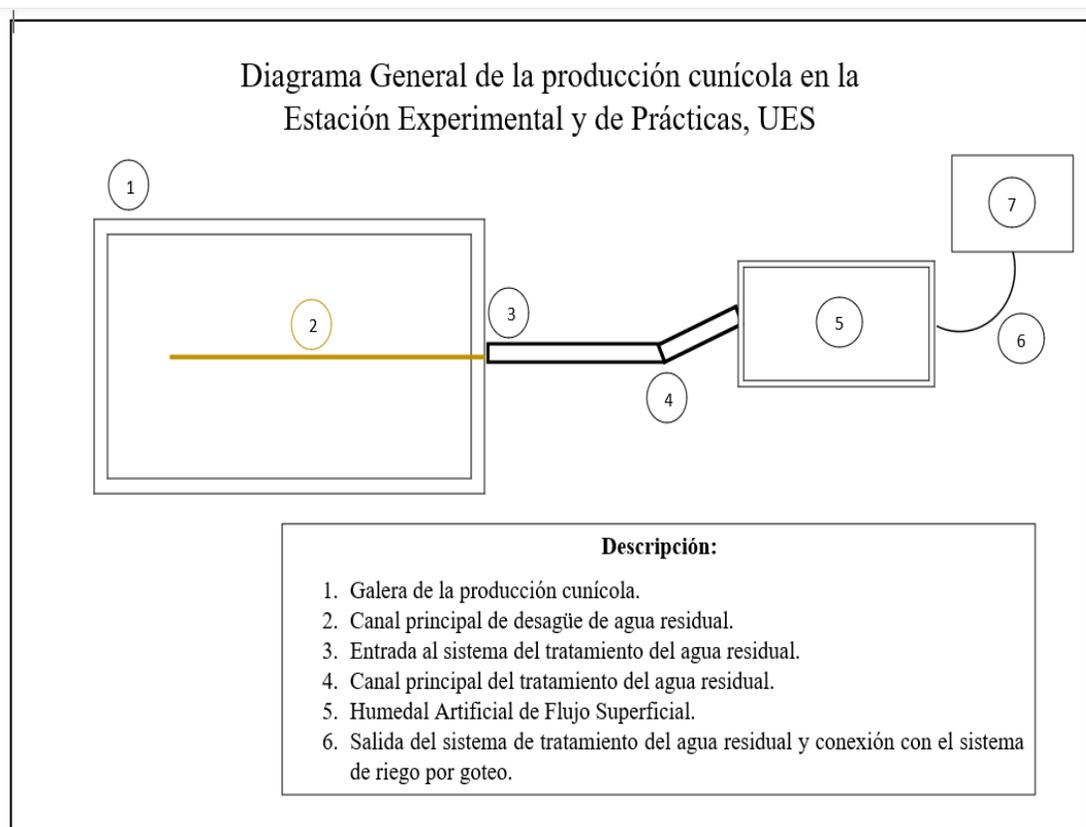
#### **Funcionamiento**

Utiliza un canal principal hecho de ladrillos y cemento en forma de rectángulo que es el que lleva el agua residual de la conejera y esta pasa por la primera reja de gruesos que retienen los grandes materiales sólidos que en este caso sería el estiércol del conejo, luego el agua pasa por la reja de finos que retiene el material sedimentado más fino.

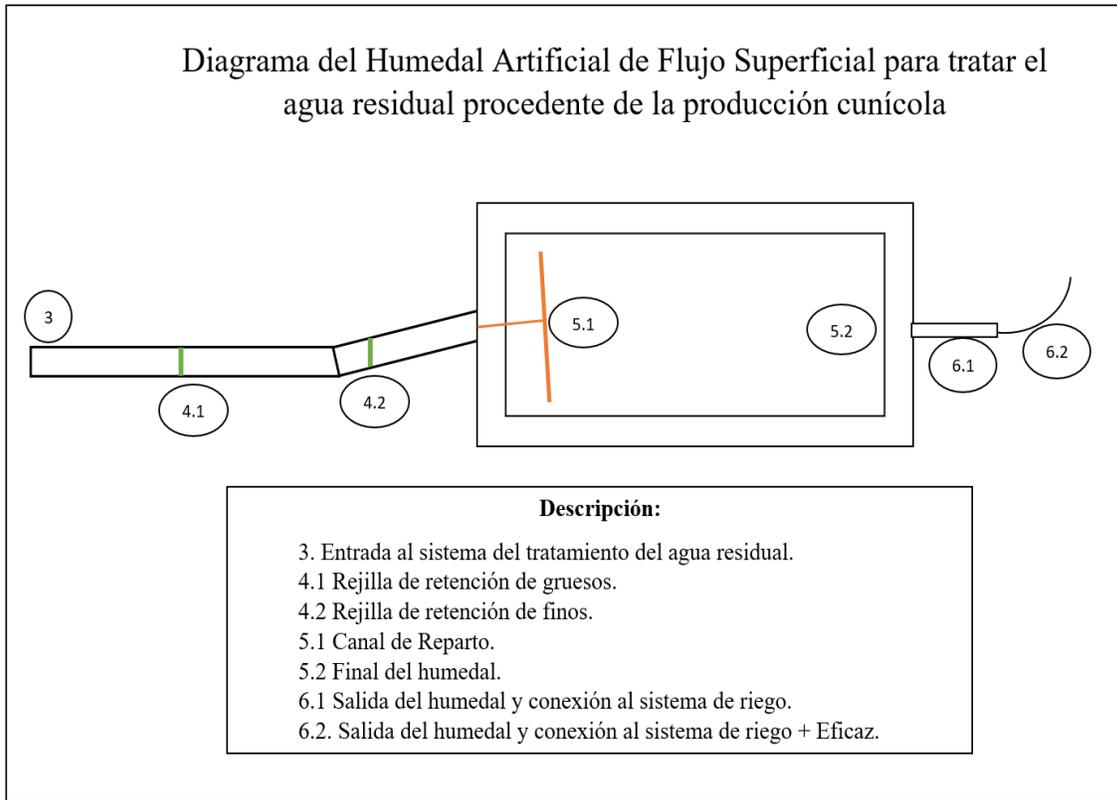
Luego el canal principal termina en un tubo de PVC que es canal de reparto el cual lleva el agua al humedal que tiene un encubrimiento de geomembrana, como sustrato utiliza grava para seguir filtrados sólidos y como macrofitas flotantes utiliza Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ya que esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As). Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (coronel 2016).

## Diagrama de las estructuras

Al observar las (**Figuras 11 y 12**). Se muestran las estructuras y componentes del tratamiento de aguas residuales del humedal artificial de la Estación Experimental y de Prácticas.



**Figura 11. Diagrama General de la producción cunícola en la Estación Experimental y de Prácticas, UES.**



**Figura 12. Diagrama del Humedal Artificial de Flujo Superficial para tratar el agua residual procedente de la producción cunícola.**

## 7.2 Proceso de reactivación del humedal

El proceso inicia con la reactivación del humedal ya que por un tiempo el humedal ya no funcionaba porque no tenía el respectivo mantenimiento, las excretas se acumularon en el canal de desagüe obstruyendo el paso del agua al humedal, el jacinto de agua estaba casi perdiéndose en su totalidad lo que impedía que el agua fuera tratada correctamente.

Esta reactivación inicia con la limpieza circundante al humedal dejando limpia el área de malezas y otros objetos que obstaculizan las labores, removiendo el excremento de conejo atrapado en el canal de desagüe, limpiando la rejilla de gruesos que existía y construyendo una rejilla de finos para mejorar la retención de excretas y estas labores ayudaron a que el humedal volviera a trabajar correctamente tratando el agua residual.

### 7.3 Monitoreo con sonda multiparamétrica

#### Análisis de muestras

Luego de haberse dado el respectivo mantenimiento del humedal para poder tener las condiciones adecuadas para la toma de datos realizándose este procedimiento por varios meses y que este funcionará correctamente se procedió a tomar las muestras de los diferentes puntos del humedal en este caso fueron tomadas de la entrada al humedal, canal de reparto, salida del humedal, tubería de desagüe.

#### Uso de producto orgánico “Eficaz”

El eficaz es un producto biorremediador de aguas residuales y lodos interactúa equilibrando las cargas microbiológicas ya que contiene bacterias ácido lácticas, hongos y levaduras que ayudan a la remoción de materia orgánica, elimina contaminantes presentes en el agua y disminuye la carga de microbiológica dañinos para el ser humano y animales.

Lo que se hace es mezclar en una cubeta, agua con el producto eficaz usándose 200 ml de producto y se removía para luego echarlo en todo el sistema de tratamiento para observar si había algún otro tipo de resultados que aumentará o que mejorará la calidad del agua tratada



**Figura 13. Humedal, Estación Experimental, UES. 2022**



**Figura 14. Mantenimiento previo a toma de datos. 2022**

Teniéndose las muestras en los respectivos recipientes, se procedió a tomar cada uno de los parámetros establecidos con la sonda multiparamétrica que nos ayudaría a conocer los resultados de las muestras obtenidas en campo.



**Figura 15. Muestras de los diferentes puntos. 2022**



**Figura 16. Uso de la sonda multiparamétrica. 2022**

#### **7.4 Parámetros determinados con la sonda multiparamétrica**

Para determinar la calidad del agua que procede de la producción cunícola y conocer el estado de esta en campo se tomaron muestras de los parámetros siendo estos analizados de las diferentes partes del sistema como lo es la entrada al sistema, una zona intermedia en el sistema y la salida del sistema con la ayuda de la sonda multiparamétrica para constatar la calidad del agua de las diferentes muestras tomadas que se presentan en las siguientes gráficas:

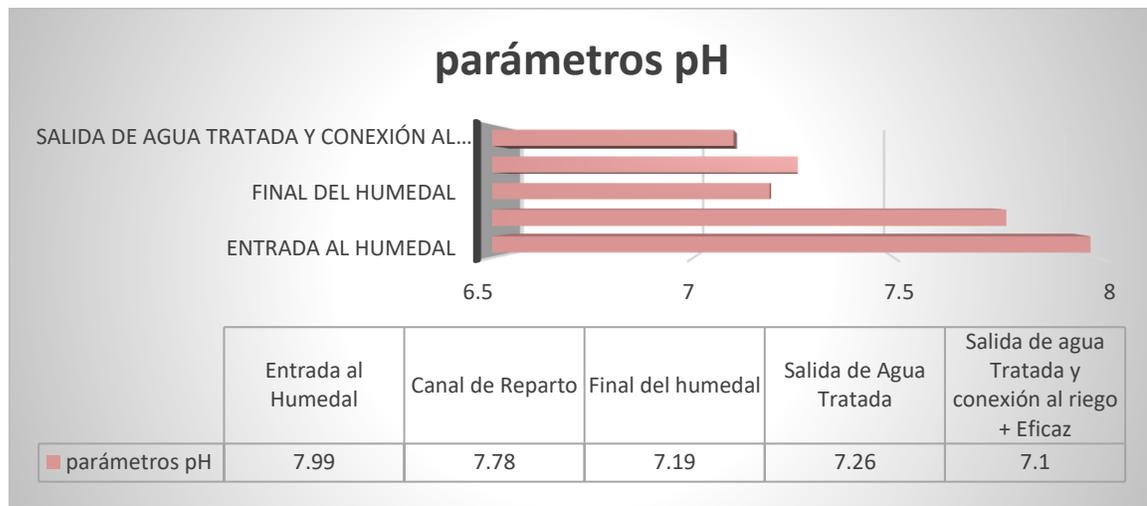
#### **Parámetro pH del agua**

**Tabla 10. Resultados del pH del agua**

Parámetros pH		
Lugar de muestreo	Resultado	Valor en la escala
Entrada al Humedal	7.99	Neutro
Canal de Reparto	7.78	Neutro
Final del humedal	7.19	Neutro
Salida de agua tratada	7.26	Neutro
Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz.	7.10	Neutro

**Fuente: Elaboración propia.**

**Grafica 1. Datos del pH tomado en campo**



**Fuente: Elaboración propia**

**Análisis:** La gráfica nos muestra la variación en la toma de dicha muestra estos valores varían entre un pH de 7.99 a la entrada al sistema, siguiéndole un valor de pH de 7.78 correspondiente al canal de reparto, mientras que en el agua que reposa en el humedal posee un dato de 7.19, llegándose a un pH menor pero igualmente aceptable de 7.10 que es la Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz.

Lo que nos indican estos resultados en base a la calidad del agua es que los datos obtenidos en el humedal artificial de la Estación Experimental y de Prácticas ubicado en la conejera de dicho lugar, presenta una variación en el nivel de pH entre 7.10 a 7.99 y se encuentran en el rango establecido por decreto número 50 y el RTS.

## Parámetro Temperatura

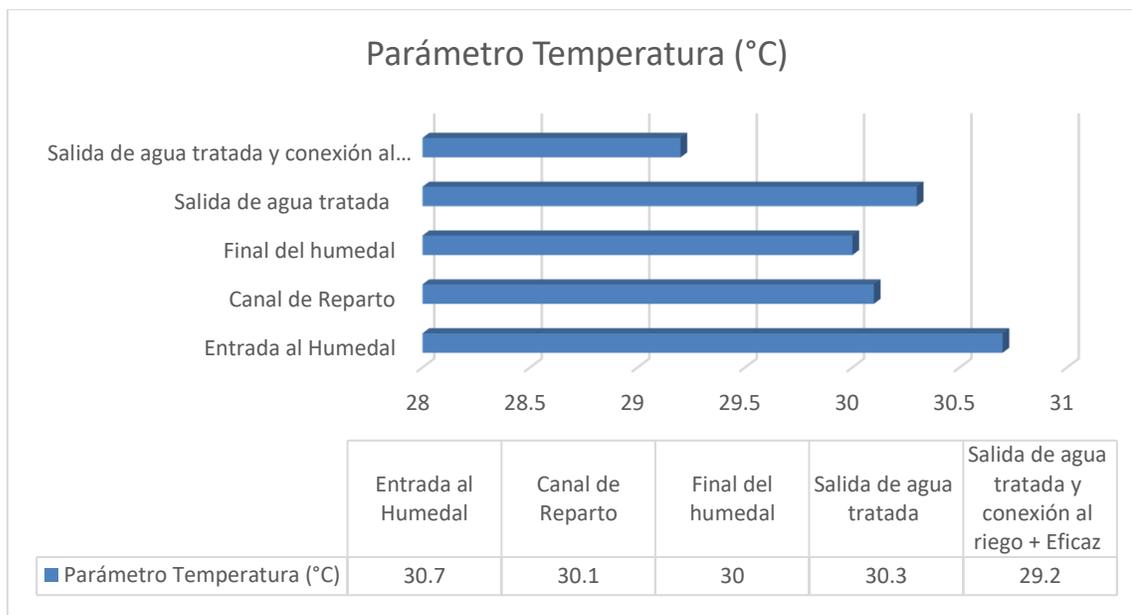
Para determinar la variación de la temperatura de las diferentes muestras se hizo uso de la sonda multiparamétrica que nos ayudó a constatar estos valores en el agua residual procedentes de la conejera, y estos valores se presentan en la siguiente gráfica:

**Tabla 11.** Resultados de la temperatura

Lugar de muestreo	Parámetro Temperatura (°C)
Entrada al Humedal	30.7
Canal de Reparto	30.1
Final del humedal	30
Salida de agua tratada	30.3
Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz.	29.2

**Fuente:** elaboración propia.

**Grafica 2.** Datos del parámetro de temperatura



**Fuente:** elaboración propia

**Análisis:** En la gráfica podemos observar valores de la temperatura del agua tomada para las muestras de los diferentes puntos de muestreo obteniéndose un valor mínimo de 29.2 °C registrado de la Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz con un valor máximo de 30.7 °C lo que representa valores que se encuentran dentro del rango establecido ya que estas temperaturas deben rondar desde los 5°C a 35 °C que son rangos establecidos por el decreto número 50 y el RTS.

### **Conductividad Eléctrica**

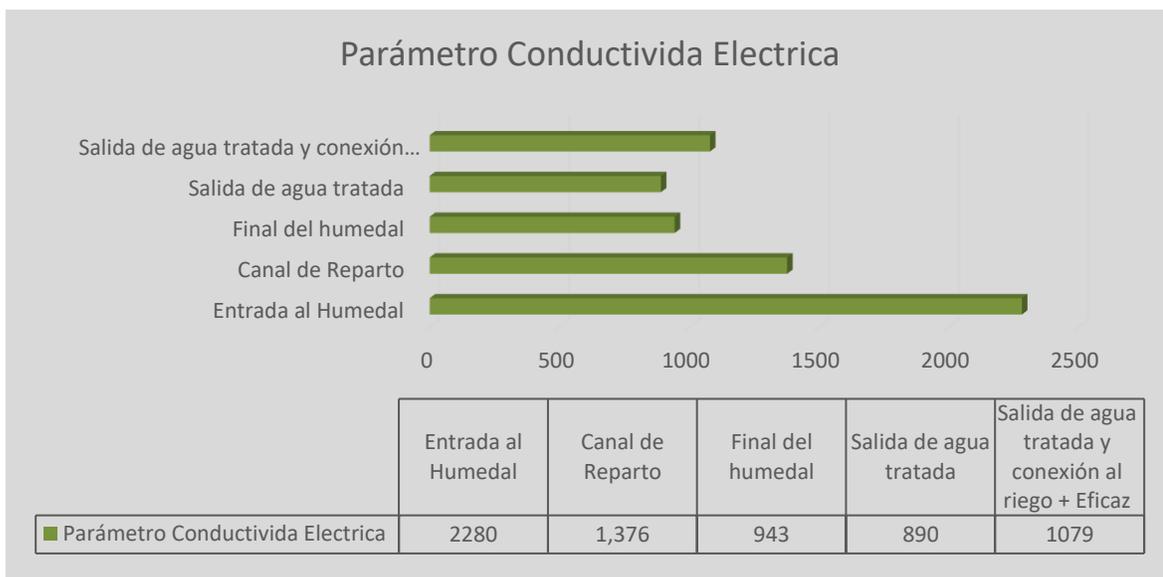
Para determinar la calidad del agua bajo los reglamentos establecidos se hizo uso de la sonda multiparamétrica con respecto a la Conductividad Eléctrica y estos resultados se presentan en la siguiente gráfica:

**Tabla 12.** Resultados del parámetro de Conductividad eléctrica

<b>Lugar de muestreo</b>	<b>Parámetro Conductividad Eléctrica</b>
Entrada al Humedal	2,280 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Canal de Reparto	1,376 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Final del humedal	943 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Salida de agua tratada	890 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz	1079 $\mu\text{S}/\text{cm}$

**Fuente:** elaboración propia

**Grafica 3. Datos del parámetro de Conductividad eléctrica**



**Fuente: elaboración propia**

**Análisis:** El gráfico nos indica un valor mínimo representativo de 1,079  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrado en la Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz y un valor máximo de 2,280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que corresponde al agua que se utiliza en la conejera y esta a su vez viene del pozo de donde se extrae el agua para su uso. Lo que nos indican estos resultados para caso de la Conductividad Eléctrica los valores de acuerdo con el decreto 50 para aguas de irrigación no cumplen con el rango permisible que va desde 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta los 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  establecidos en el decreto 50.

### **Solidos Totales Disueltos (STD)**

Con el fin de determinar la calidad de agua bajo los reglamentos establecidos y utilizando los parámetros establecidos se presenta en la siguiente grafica los resultados obtenidos de los Sólidos Totales Disueltos que se encontraron utilizando la sonda multiparamétrica.

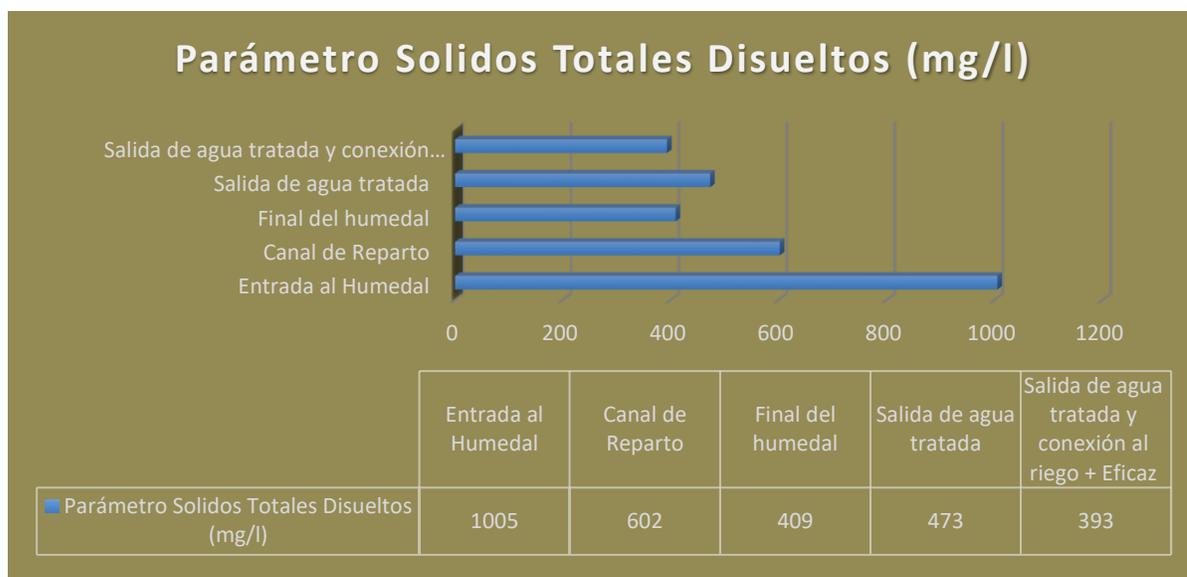
**Tabla 13.** Resultados del parámetro Solidos totales disueltos

<b>Lugar de muestreo</b>	<b>Parámetro Solidos Totales Disueltos (mg/l)</b>
Entrada al Humedal	1005
Canal de Reparto	602
Final del humedal	409

Salida de agua tratada	393
Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz	473

**Fuente: elaboración propia**

**Grafica 4. Datos paramétricos de STD**



**Fuente: elaboración propia.**

**Análisis:** En la gráfica se observan los diferentes datos obtenidos en la toma de muestra estos valores varían a la entrada al sistema de 1,005 mg/l de STD siguiéndole un 602 mg/l correspondiente al canal de reparto, mientras que en el agua que reposa en el humedal contiene 409 mg/l, llegándose a un dato de 393 mg/l que es la Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz.

Lo que nos indican estos resultados en base a la calidad del agua es que los datos obtenidos en el humedal artificial de la Estación Experimental y de Prácticas, presentan una variación en los rangos de Solidos Totales Disueltos de hasta 393 mg/l lo que sí está dentro del rango establecido por el decreto número 50 con los valores de 200 mg/l hasta 1,000 mg/l.

## Parámetro Oxígeno Disuelto

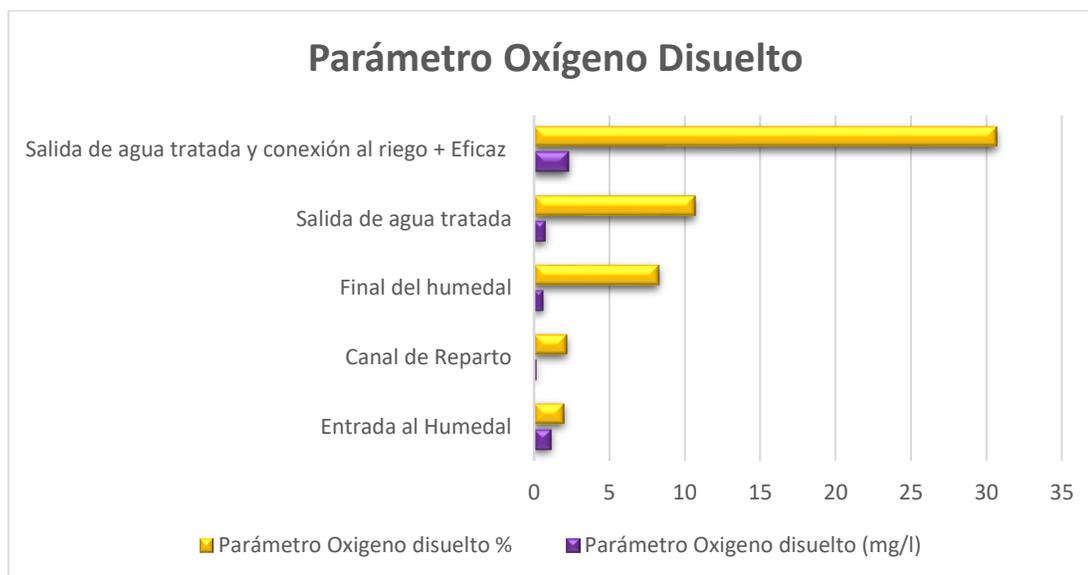
Con el fin de determinar la calidad de agua bajo los reglamentos establecidos y utilizando los parámetros establecidos se presenta en la siguiente grafica los resultados obtenidos del parámetro de oxígeno disuelto en agua que se determinó mediante el uso de la sonda multiparamétrica.

**Tabla 14.** Resultados del parámetro Oxígeno disuelto

Parámetro Oxígeno disuelto		
Lugar de muestreo	(mg/l)	%
Entrada al Humedal	1.15	2
Canal de Reparto	0.17	2.2
Final del humedal	0.62	8.3
Salida de agua tratada	0.76	10.7
Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz	2.29	30.7

**Fuente:** elaboración propia

**Grafica 5.** Datos del parámetro Oxígeno disuelto



**Fuente:** elaboración propia

**Análisis:** Las muestras tomadas nos arrojan datos de oxígeno disuelto en agua que van desde los rangos de la entrada al sistema con un valor de 1.15 mg/ L, siguiendo un valor de 0.17 mg/ L correspondiente al canal de reparto, ya en la salida del humedal presenta un valor de 0.62 mg/ L y con el valor más alto que es el dato tomado de la Salida de agua tratada y conexión al riego + Eficaz con 2.29 mg/ L.

Por lo tanto, estos resultados de los datos obtenidos en el humedal artificial de la estación experimental y de prácticas, presentan una variación muy baja. Ya que es el resultado de la acción directa de la cantidad de materia orgánica que va disuelta en el agua, la descomposición de dicha materia consume oxígeno en su degradación lo que lleva a los valores bajos de oxígeno disuelto en agua por lo que no cumple con lo establecido por decreto número 50 con rangos entre 4 a 6.5 mg/L.

### **Sólidos Sedimentables**

Este parámetro fue tomado mediante el uso del vaso cónico especial denominado como Imhoff y su funcionamiento es simple solo se agrega el agua que se va a muestrear del lugar establecido en este caso el agua del humedal artificial y por precipitación los sólidos caen en el fondo del cono y se determina que porcentaje del total contiene materia orgánica en un lapso de una hora.



**Figura 17. Uso del cono Imhoff para determinar sólidos sedimentables. 2022**

**Análisis:** Para conocer el valor de este dato se toma de referencia los 1000 ml que vendría siendo un litro de agua y se identifica mediante la graduación del cono cuanto de la materia orgánica presente en ese litro precipita en este caso al lapso de una hora el valor que arrojó fue de 35 ml/L lo que indica que por cada litro de agua presente esta contiene un promedio de 35 ml/L en sólidos sedimentables. Y esto indica que, si cumple el parámetro establecido por el decreto 50.

## 7.5 Parámetros determinados bajo análisis de laboratorio

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Este parámetro fue tomado para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere para estabilizar biológicamente la materia orgánica contenida en el agua, estas muestras fueron tomadas de dos puntos el primero a la entrada al sistema de tratamiento del agua y la otra muestra fue tomada a la salida del sistema que es la tubería donde va conectado al futuro sistema de riego por goteo para identificar si el humedal está funcionando correctamente



**Figura 18. Toma de muestras para análisis de DBO<sub>5</sub> y Coliformes Fecales. 2022.**

**Análisis:** Las muestras tomadas fueron enviadas a un laboratorio para su respectivo análisis dando como resultado un valor de DBO<sub>5</sub> presente en el agua según el anexo C1 es de 693 mg/L a la entrada al sistema y un valor según el anexo C2 de 195 mg/L a la salida del sistema.

Estos resultados lo que nos indican en base a la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) procedentes del humedal artificial presentan una variación en el nivel de  $DBO_5$  de 195 mg/L hasta 693 mg/L y este rango encontrado en la muestra no cumplen con la aptitud de uso establecido en el decreto número 50 con los valores máximos de  $DBO_5$  3.0 a 4.0 ml/ L para riego, pero si cumple con lo establecido en el RTC con los valores máximos de  $DBO_5$  300 ml/ L por lo que es agua apta para el vertido en un medio receptor.

### **Coliformes Fecales**

Este parámetro de gran importancia fue tomado para determinar la presencia o usencia de microorganismos que pueden causar daño a la salud humana por lo que es indispensable conocer su valor real en el agua residual del humedal artificial de flujo superficial, estas muestras fueron tomadas de dos puntos en específico el primero a la entrada al sistema de tratamiento del agua para conocer con que cantidad coliformes fecales ingresaba el agua al sistema y la otra muestra fue tomada a la salida del sistema que es la tubería donde va conectado el sistema de riego por goteo para identificar presencia o usencia de coliformes fecales y conocer si el humedal está funcionando correctamente en la disminución de la carga microbiana del agua.



**Figura 19. Muestras tomadas a la entrada al sistema de tratamiento de agua. 2022**



**Figura 20. Muestras tomadas a la salida del sistema de tratamiento de agua. 2022**

**Análisis:** Las muestras tomadas fueron enviadas a un laboratorio para su respectivo análisis dando como resultado un valor de Coliformes Fecales presentes en el agua de 1,400 NMP/100 mL a la entrada al sistema y un valor de 1,700 NMP/100 mL a la salida del sistema. Por lo que estos resultados indican que las muestras de agua presentan una carga de Coliformes Fecales procedentes del humedal artificial que varía en el nivel de 1,400 NMP/100 mL hasta 1,700 NMP/100 mL y este rango encontrado en la muestra cumple con lo establecido por el decreto número 50 con los valores máximos de coliformes fecales de 50 a 5,000 NMP/100 ml para la aptitud de uso en la agricultura.

#### 7.6 Análisis comparativo de los lineamientos permitidos según el RTS y El Decreto número 50

<b>Parámetros medidos</b>	<b>Valor después del tratamiento con HAFS</b>	<b>Rangos permisibles</b>	<b>Cumplimiento</b>
pH del agua	7.10	6.5 a 9.2	Cumple tanto para el RTS y el Decreto N°50
Temperatura (°C)	29.2°C	5°C a 35°C	Cumple tanto para el RTS y el Decreto N°50
Conductividad Eléctrica	1079 µS/cm	250 a 750 µS/cm	No cumple con el Decreto N°50 por lo que No tiene aptitud de uso para la agricultura
Solidos Totales Disueltos	393 ml/L	200 ml/L a 1,000 ml/L.	Cumple con el Decreto N°50 por lo que tiene aptitud de uso para la agricultura
Solidos Sedimentables	35 mg/L	500 mg/L	Cumple con el Decreto N°50 por lo que tiene aptitud de uso para la agricultura
Oxígeno Disuelto	2.29 ml/ L	4.0 a 6.5 ml/ L	No cumple con el Decreto N°50 por lo que No tiene aptitud de uso para la agricultura

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	195 mg/ L	300 mg/ L	Cumple el rango permisible para el RTS por lo que puede ser vertida en un medio receptor
Coliformes Fecales	1,700 NMP/100 ml	50 a 5,000 NMP/100 ml	Cumple el rango permisible para el Decreto N°50 por lo que tiene aptitud de uso para la agricultura

### 7.8 Legislación Salvadoreña

De acuerdo con el **REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO: AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES.** Los datos obtenidos de las muestras tanto con el uso de la sonda multiparamétrica y análisis de laboratorio de los parámetros de pH, Temperatura, Solidos Totales Disueltos, Solidos Sedimentables, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto y Coliformes Fecales obtenidos si cumplen con los rangos permisibles establecidos en el RTS, para ser aguas aptas para el vertido en un medio receptor.

Y para el caso del **REGLAMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS ZONAS DE PROTECCION DECRETO No. 50.** La mayoría de los parámetros muestreados cumplen los rangos permisibles establecidos para el agua con aptitud de uso en el sistema de riego por goteo en la agricultura, sin embargo, para los dos parámetros que no cumplen los rangos establecidos en este Decreto es recomendable determinar si el humedal artificial ubicada en la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad De El Salvador esta apegado a la Legislación Nacional en cuanto a esos parámetros y es necesario realizar análisis más profundos con resultados a mediano y largo plazo que nos permitan determinar si todos los parámetros se encuentran entre los rangos permisibles establecidos por el decreto 50 para el uso del agua en el riego.

## 7.9 Análisis de Eficiencia según los parámetros obtenidos

Parámetros medidos	Valor a la entrada	Valor a la salida	Eficiencia
pH del agua	7.99	7.10	<b>11.13%</b>
Temperatura (°C)	30.7°C	29.2°C	<b>4.89%</b>
Conductividad eléctrica	2,280 µS/cm	1,079 µS/cm	<b>52.67%</b>
Solidos Totales Disueltos	1,005 mg/ L	393 mg/ L	<b>60.89%</b>
Solidos Sedimentables	35 ml/ L	9 ml/ L	<b>74.28%</b>
Oxígeno Disuelto	1.15 mg/ L	2.29 mg/ L	<b>99.1%</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	693 mg/ L	195 mg/ L	<b>71.86%</b>
Coliformes Fecales	1,400 NMP/100 ml	1,700 NMP/100 ml	<b>-21.42%</b>

Para calcular la eficiencia que se presenta en el apartado 8.9 y que es con la que trabaja el humedal artificial se hizo uso de la siguiente fórmula y todos los cálculos se pueden apreciar en el (Anexo C3).

$$\text{Eficacia} = \frac{(\text{valor de entrada} - \text{valor de salida})}{\text{valor de entrada}} * 100$$

**Análisis de resultados:** La eficiencia es la capacidad de conseguir un resultado usando la menor cantidad de recursos y a su vez conseguir un máximo de beneficios, en este caso los parámetros utilizados para determinar la eficiencia del humedal artificial de flujo superficial que se encuentra en la Estación Experimental y de Prácticas se determinó mediante los cálculos que el parámetro de pH del agua está funcionando con una eficiencia del 11.13%, La Temperatura con un 4.89%, la Conductividad Eléctrica con un 52.67%, los Solidos Totales Disueltos con un 60.89%, Los Sólidos Sedimentables con un 74.28%, el Oxígeno Disuelto presenta una eficiencia del 99.1%, el DBO<sub>5</sub> con un 71.86%.

Mientras que, el recuento de Coliformes Fecales está funcionando con una eficiencia del -21.42% por lo que, este incremento que afecta de forma negativa al recuento se debe principalmente al proceso de mejoras que está teniendo el Humedal Artificial.

Lo que nos indican estos resultados de eficiencia es que en algunos parámetros el Humedal está funcionando correctamente para tratar el agua residual sin embargo, esto no se ve reflejado en los resultados obtenidos mediante el análisis de laboratorio ni de los resultados obtenidos utilizando la sonda multiparamétrica por lo que se debe considerar un mejor manejo del humedal en cuanto a su mantenimiento diario como evitar la sedimentación del excremento fino del conejo en el canal de desagüe, recolectar el excremento en la galera y depositarlo en la zona de compostaje, mantener limpias las rejillas de retención de gruesos y evitar el taponamiento en el tubo reparto, además de, mejorar algunos aspectos del proceso de tratamiento del agua residual procedente de la producción cunícola.

## VIII. CONCLUSIONES

Se comprobó la eficacia del humedal artificial de flujo superficial ubicado en la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad De El Salvador, esto con la medición de parámetros específicos que permitieron comprobar que el humedal está trabajando correctamente en el tratamiento de las aguas procedentes de la producción cunícola y estos resultados están dentro de los rangos permisibles establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 15.05.01:18) (RTS 2018). Por lo que son aguas aptas para ser vertidas en un medio receptor.

La conductividad eléctrica encontrada bajo el uso de la sonda multiparamétricas no cumple lo establecido en el Decreto N°50 ya que los valores obtenidos superan lo establecido en la ley, variando de forma irregular y esto crea un riesgo de precipitación de sales que puede causar un taponamiento en el sistema de riego a utilizar, por lo que, se debe seguir mejorando el humedal para que el agua pueda aprovecharse o dar un reusó en futuras investigaciones cumpliendo con lo establecido en la ley.

La presencia de Coliformes Fecales se encuentra dentro de los rangos establecidos por el decreto 50 por lo que son aguas tratadas aptas para su reusó en el riego agrícola ya que se encuentra en los rangos de 50 a 5,000 NMP/100 ml establecidos por el Estado, pero debe seguir mejorándose el tratamiento en el humedal para evitar el crecimiento en las últimas etapas del tratamiento.

Las excretas mayormente el estiércol del conejo no se le da el respectivo pretratamiento dentro de la instalación por lo que esto afecta de forma directa en la sedimentación de materia orgánica fina y esta, en su mayoría afecta en las primeras etapas del tratamiento del agua dentro del humedal artificial creando problema en cascada que afecta a los demás parámetros que se relacionan entre sí, disminuye la calidad del agua.

Los humedales artificiales como tecnologías para el tratamiento de aguas residuales de procedencia pecuaria funcionan siempre y cuando se manejen correctamente todos aquellos componentes del sistema que en conjunto llevan a cabo las acciones físicas, químicas o biológicas que ayudan a mejorar la calidad de agua residual.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arce, P. 2018. HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN. (En línea). Tesis Especialista en Gestión Ambiental. Bogotá, Colombia. Fundación Universidad De América. 79 p. Consultado 17 de agosto de 2022. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- Arias, S. Betancur, B. Gómez, G. Salazar, J. Hernández. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas: generalidades. (en línea). Artículos Técnicos del SEMA. La Salada, Colombia. Vol. 74. p 12 – 22. Consultado 17 de sep. de 22. Disponible en: <https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/3250/fitorremediacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, C. y Orellana, Y. 2009. Diseño de un plan de negocio que ayude a los cunicultores en la creación de una empresa productora y comercializadora de carne de conejo ubicada en El Municipio de Tacuba, Departamento de Ahuachapán. (En línea). Tesis Administración de empresas. San Salvador, El Salvador. Universidad De El Salvador. 304 p. Consultado 17 de agosto de 2022. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9234/1/T658%20C198n.pdf>
- Chahal, C.; Van den, A. B.; Young, X. F.; Franco, C.; Blackbeard, J. and Mon, P. 2016. Pathogen and particle associations in wastewater: significance and implications for treatment and disinfection processes. Adv. Appl. Microbiol. 97(1):64-110. Consultado 16 de sep. de 22. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27926432/>
- Coronel, E. 2016. Eficiencia del jacinto de agua (*eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la universidad nacional

toribio rodríguez de mendoza de amazonas- chachapoyas. (En línea). Tesis en Ing. Ambiental. Chachapoyas, Perú. Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas. 96 p. Consultado 22 de agosto de 2022. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1>

Dávila, M. López, M. 2020. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas mediante Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial Vertical utilizando diferentes Plantas Emergentes. (En línea). Tesis Ing. Civil. Cuenca, Ecuador. Universidad Del Azuay. 47 p. Consultado 14 de agosto de 2022. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10121/1/15751.pdf>

EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial. (en línea). Artículos Técnicos de EPA. Estados Unidos, Washington, D.C. Consultado 15 de sep. de 22. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs\\_00\\_023.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf)

Galaviz, L. 2019. Aprovechamiento integral de residuos de una granja cunícola: componentes químicos de la orina. (En línea). Tlaxcala, México. 42 p. Consultado 14 de septiembre de 2022. Disponible en: <https://www.academia.edu/31340380/APROVECHAMIENTO INTEGRAL D E RESIDUOS DE UNA GRANJA CUNICOLA>

García, C. Martínez, F. Chiroles, R. Hernández, M. Chávez, N. Dantín, M. Pascual, J. 2014. Contaminación fecal presentes en el lixiviado y en la solución acuosa del humus de lombriz: importancia de su control. (en línea). Artículos Técnicos revista Agrotecnía de Cuba vol. 38, no. 2. La Habana, Cuba. Consultado 18 de sep. de 22. Disponible en: [https://www.grupoagricoladecuba.gag.cu/media/Agrotecnia/pdf/38\\_2014/2/2.pdf](https://www.grupoagricoladecuba.gag.cu/media/Agrotecnia/pdf/38_2014/2/2.pdf)

García, K. Beatriz, D. 2021. Eficiencia de las macrofitas flotantes, Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes, en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la PTAR del distrito de Huachac, Chupaca. (En línea). Tesis en Ing. Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Continental. 200 p. Consultado 24 de agosto de 2022. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10662/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Garcia\\_Parejas\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10662/1/IV_FIN_107_TE_Garcia_Parejas_2021.pdf)

Gutiérrez, J. Mera, R. 2021. Remoción de materia orgánica mediante humedales artificiales con pasto saboya (*panicum máximum*) y pasto elefante (*pennisetum purpureum*) en aguas residuales bovinas. (En línea). Tesis Ing. En Medio Ambiente. Manabí, Ecuador, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. 59 p. Consultado 12 de agosto de 2022. Disponible en: <http://190.15.136.145/bitstream/42000/1650/1/TTMA64D.pdf>

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, México). 2018. Clasificación de Aguas para Riego Agrícola: Serie Agua y Riego (en línea). Artículos Técnicos de INTAGRI Núm. 20. Ciudad de México, México. Consultado 15 de sep. de 22. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/clasificacion-de-aguas-para-riego-agricola>

Lara J y Vera L. 2005. Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia. (En línea). Revista Científica Redalyc. (9): 47-63. Consultado 27 de agosto de 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/477/47720781003.pdf>

Ley De Medio Ambiente. Decreto No. 233. LEY DEL MEDIO AMBIENTE. El Salvador. 4 de mayo de 1998. (en línea). Consultado 18 de sep. de 22. Disponible en: <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/marn/documents/1538/download#:~:text=La%20Ley%20del%20Medio%20Ambiente,calidad%20de%20vida%20de%20las>

- Lodoño, L. Marín, C. 2009. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. (En línea). Tesis Ing. En tecnólogo químico. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica De Pereira. 215 p. Consultado 17 de agosto de 2022. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/b1db3d1f-8722-4586-b894-7e9fc405dd27/content>
- Marín C. Solís, R. López, G. Bautista, G. Cerino, J. 2016. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. (En línea). Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuaria. (10): 5-20. Consultado 13 de agosto de 2022. Disponible en: <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/54/253>
- Martelo, J y Lara, J. 2012. Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. (En línea). Revista Ingeniería y Ciencia, ing. cienc. (8): 221–243. Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en: <https://web.s.ebscohost.com/minerva/remotexs.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=13&sid=5a37f6a3-40c1-45b3-ad05-4a99b1e08ed5%40redis>
- MINSA (Ministerio De Salud del Perú). S. f. Estándares de calidad ambiental de agua: riego de vegetales y bebida de animales. (en línea). Artículos Técnicos de MINSA. Lima, Perú. Consultado 15 de sep. de 22. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf)
- MMA YA. (Ministerio De Medio Ambiente Y Agua De Bolivia). 2018. Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura: Calidad del agua de riego. (En línea). La paz, Bolivia. 118 p. Consultado 14 de septiembre de 2022. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429934/guia\\_reuso\\_aguas\\_residuales.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429934/guia_reuso_aguas_residuales.pdf)

- Morales, M. Castellanos, L. 2018. REDISEÑO HUMEDAL ARTIFICIAL PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y REÚSO: MODELO DIDÁCTICO LABORATORIO DE RECURSOS HÍDRICOS UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. (En línea). Tesis Ing. Civil. Bogotá, Colombia. Universidad Católica De Colombia. 101 p. Consultado 17 de agosto de 2022. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22817/1/Trabajo%20de%20Grado-Redise%C3%B1o%20Humedal%20Artificial.pdf>
- Oliveira, R. Alves, S. Lucía, O. Rodríguez, J. Astoni, D. 2009. TAPONAMIENTO DE GOTEROS Y DEL FILTRO DE DISCOS CON AGUA RESIDUAL SANITARIA DE UNA LAGUNA DE MADURACIÓN. Medellín, Colombia. (En línea). Revista Científica SciELO. 62 (1): 1-4. Consultado 14 de septiembre de 2022. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a20v62n1.pdf>
- OMS (Organización Mundial de Salud). 2006. Guías para la calidad del agua potable (Primer apéndice): Calidad microbiológica del agua. (En línea). Ginebra, Suiza. 57-58 p. Consultado 18 de septiembre de 2022. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Ortega, F y Orellana, R. 2007. El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos que considerar: Aguas residuales urbanas. (En línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. (16): No. 3. Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en: <https://web.s.ebscohost.com/minerva.remotexs.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=10&sid=5a37f6a3-40c1-45b3-ad05-4a99b1e08ed5%40redis>
- Perez, P. 2009. “Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango”. (En línea). Tesis Doctor en Ciencia y Tecnología Ambiental.

Durango, México. Centro De Investigación De Materiales Avanzados, S.C. 102 p. Consultado 11 de agosto de 2022. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20P%C3%A9rez%20L%C3%B3pez.pdf>

PRISMA (Programa Salvadoreño De Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente). 2001. Boletín PRISMA. San Salvador, El Salvador. 2001-43. Consultado 29 de agosto de 2022. Disponible en: [https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/bol43 la contaminacion del agua en ESV.pdf](https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/bol43%20la%20contaminacion%20del%20agua%20en%20ESV.pdf)

Rodríguez, A. 2017. Diseño de un humedal artificial para el Municipio Arcos De Las Salinas (Teruel). (En línea). Tesis en MSc de tratamiento de aguas. Valencia, España. Universidad Politécnica De Valencia. 200 p. Consultado 11 de agosto de 2022. Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89917/RODR%C3%8DGUEZ%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20humedal%20artificial%20para%20el%20Municipio%20de%20Arcos%20de%20las%20Salinas%20%28Teruel%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rosa, T. 2017. HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. (diapositivas). La Molina, Perú. 13 diapositiva, color. (Serie técnica. Modulo 12). Consultado 16 de sep. de 22. Disponible en: [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/lectures/UNASAM 2/Modulo 12.1 Humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales domesticas.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/lectures/UNASAM%20Modulo%2012.1%20Humedales%20subsuperficiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20domesticas.pdf)

RTS (Reglamento Técnico Salvadoreño). 2018. REGLAMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS ZONAS DE PROTECCION. (en línea). San Salvador. El Salvador. Consultado 20 de sep. de 22. Disponible en: <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/reglamento-sobre-la-calidad-del-agua-el-control-de-vertidos-y-las-zonas-de-proteccion-decreto-n-50/>

Rubén, R. 2017. MODELO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL EN EL CENTRO POBLADO LA PUNTA – SAPALLANGA. (En línea). Tesis Ing. Civil. Huancayo, Perú. Universidad Nacional Del Centro Del Perú. 193 p. Consultado 16 de agosto de 2022. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3873/Raymundo%20Montes.pdf?sequence=1>

Soluciones Hidropluviales. 2018. Humedales artificiales para tratar el agua: diseño de humedales. (en línea, sitio web). Consultado 18 de sep. de 22. Disponible en: <https://hidropluviales.com/2021/01/19/humedales-artificiales-para-tratar-el-agua/>

Swistock, B. 2021. Interpretación de los análisis del agua de riego: pruebas y parámetros. (en línea). Artículos Técnicos de Pennsylvania State University. University Park, PA. Consultado 15 de sep. de 22. Disponible en: <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>

Veliz, E. Llanes, J. Asela, F. Bataller, M. 2009. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. (En línea). Revista CENIC Ciencias Biológicas. (40): 35-36 Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en: [https://web.s.ebscohost.com/minerva.remotexs.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=5a37f6a3-40c1-45b3-ad05-4a99b1e08ed5%40redis](https://web.s.ebscohost.com/minerva/remotexs.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=5a37f6a3-40c1-45b3-ad05-4a99b1e08ed5%40redis)

W. Adams. 2012. Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales (en línea). Boletín 2012-11:15. Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS%2012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%2012-11-15-SP.pdf)

Universidad de Madrid. 2015. Descripción de indicadores para aguas residuales tratadas. Boletín 2015- 2:14. Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en:

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Temperatura%20f26.pdf>

Garcia, Y. 2019. Oxígeno Disuelto (OD) como indicadores para aguas residuales tratadas. (en línea). Boletín 3.1.1.0. Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en:

[https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf)

Argandoña Zambrano, LE; Macías García, RG. 2013. Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, cantón Portoviejo, provincia de Manabí (en línea). Ecuador. Consultado 26 de septiembre de 2022. disponible en <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION%20DE%20SOLIDOS%20TOTALES%2C%20SUSPENDIDOS%2C%20SEDIMENTADOS%20Y%20VOLATILES.pdf>

Decreto N° 50. 1987. REGLAMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS ZONAS DE PROTECCION DECRETO. (Reglamento). Diario Oficial N° 191. El Salvador. 16 oct. Consultado 4 de octubre de 2022. Disponible en: <https://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/leyes/Decreto%20No.50.pdf>

Menjivar, J. 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 (En línea). Tesis Ingeniería Agroindustrial. San Salvador, El Salvador. Universidad De El Salvador. 72 p. Consultado 25 de ene. de 23. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/27152/1/13101755.pdf>

## X. ANEXOS



**Anexo A1. Instalación cunícola, Estación Experimental y de prácticas, UES.**



**Anexo A2. Canal principal de desagüe de las aguas residuales.**



**Anexo A3. Preparación del producto eficaz como tratador de las aguas residuales.**



**Anexo A4. Toma de muestras para análisis de los parámetros utilizando la sonda multiparamétrica**

**REGISTRO DE PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS IN SITU, CON SONDA MULTIPARAMÉTRICA**

Lugar La Canejera  
 Fecha 17 octubre 2022  
 Hora de inicio 11:16 am Hora final 11:50 am  
 Tª ambiente (°C) \_\_\_\_\_ P atmosférica (hPa) \_\_\_\_\_

CÓDIGO DE LA MUESTRA (año/mes/día/#)  Ejemplo: 2110170	PARÁMETROS							OBSERVACIONES: SITIO DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA APARIENCIA DE LA MUESTRA OTROS.
	Sonda 1: PHC101		Sonda 2: CDC401		Sonda 3: LDO101			
	Temperatura	pH	Conductividad Eléctrica	Sólidos Totales Disueltos	Oxígeno Disuelto			
	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	%		
01171022	30.7	7.99	<del>1,005</del> <sup>2.28</sup>	1,005	1.15	2.0		
02171022	30.1	7.78	1,376	602	0.17	2.2		
03171022	30.0	7.10	745	409	0.62	8.3		
04171022	29.4	7.26	890	393	0.76	10		
05171022	29.2	6.93	1,079	473	0.79	10.7		
06171022	30.3	7.19	x	x	2.29	30.7		

*Handwritten notes on the left:*  
 Sonda de la canejera ①  
 Canal de reparto ②  
 Filtro de humedad ③  
 Reuso de agua ④  
 2º repet  
 Con epicais 3º repet

**Anexo A6. Toma de datos en campo de los parámetros medidos con la sonda multiparamétrica.**



**Anexo A7. Toma de muestras para análisis de laboratorio de Coliformes Fecales y DBO5**

**Anexo B1. Parámetros obtenidos de las aguas tratadas en el humedal artificial de la sonda N° 1 procedentes de la producción cunícola**

<b>Parámetros de la Conejera, Estación Experimental y de Prácticas, UES</b>		
<b>Sonda 1: PHC101</b>		
<b>Muestras</b>	<b>T°</b>	<b>pH</b>
Entrada al Humedal	30.7	7.99
Canal de Reparto	30.1	7.78
Salida del humedal	30	7.19
Reusó de agua	30.3	7.26
Reusó de agua + Eficaz	29.2	7.10

**Anexo B2. Parámetros obtenidos de las aguas tratadas en el humedal artificial de la sonda N° 2 procedentes de la producción cunícola**

<b>Parámetros de la Conejera, Estación Experimental y de Prácticas, UES</b>		
<b>Sonda 2: CDC401</b>		
<b>Muestras</b>	<b>C. E o Salinidad</b>	<b>STD</b>
Entrada al Humedal	2280	1,005
Canal de Reparto	1,376	602
Salida del humedal	943	409
Reusó de agua	890	473
Reusó de agua + Eficaz	1,079	393

**Anexo B3. Parámetros obtenidos de las aguas tratadas en el humedal artificial de la sonda  
N° 3 procedentes de la producción cunícola**

<b>Parámetros de la Conejera, Estación Experimental y de Prácticas, UES</b>		
<b>Sonda 1: PHC101</b>		
	<b>OD</b>	
<b>Muestras</b>	<b>Mg/L</b>	<b>%</b>
Entrada al Humedal	1.15	2
Canal de Reparto	0.17	2.2
Salida del humedal	0.62	8.3
Reusó de agua	0.76	10.7
Reusó de agua + Eficaz	2.29	30.7

**INFORME DE RESULTADOS**

San Salvador, 11 de noviembre de 2022

N° de Solicitud: SA2935	N° de Reporte: RA11841	<b>Datos de la muestra</b>	
<b>Datos del cliente</b>		Naturaleza:	Agua tratada, Muestra 1
Empresa:	Jose Tobías Menjívar Hernández	Fecha de ingreso:	28/10/2022
Responsable:	Jose Tobías Menjívar Hernández	Hora de ingreso:	03:20 pm
Dirección:	Col. Jardines de San Bartolo, pasaje los Mirtos sur, Casa #17, Ilopango	Fecha de análisis:	28/10/2022 a 08/11/2022
Teléfono:	7511-6019	<b>Datos de recolección de muestra</b>	
E-mail:	97tobiasjose@gmail.com; mh16057@ues.edu.sv	Muestreo por:	Cliente

**REPORTE DE ANALISIS**

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	LINEAMIENTO TECNICO LIMITE PERMISIBLE***	METODO DE ANALISIS****
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)* mg/L	693	20	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.
Coliformes Fecales NMP/100 mL	1,400	240	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 9221-B. 1b, 2b, 9221 C y 9221-E. 23rd. Edition 2017.

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

\*\*Este valor corresponde a 0 o Ausencia

\*\*\*Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada. Tabla 1.

Parámetros para Reúso de Agua Residual Tratada. Sección 3.

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

mg/l: miligramos por litro      ml: mililitro

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

Las actividades que tiene repercusión sobre los resultados se realizaron bajo condiciones ambientales controladas.

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Muestra turbia, color café, olor a alimentos, con moderada cantidad de sedimentos y abundantes solidos en suspensión. Recibida en frasco plástico y frasco estéril.

**OBSERVACIÓN:** Los resultados no cumplen con el valor establecido por la norma de referencia.

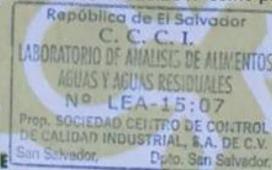
**Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.**

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del reporte. Atentamente,

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI**

*Sulma Yanira Reyes de Serpas*  
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.  
Dirección Ejecutiva

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2017 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.



**ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE**

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-8888, (503) 2284-0223  
Email: atencioncliente@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv



**Anexo C1. Resultados de los análisis de las muestras para determinar Coliformes Fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno a la Entrada al sistema de tratamiento.**

**INFORME DE RESULTADOS**

San Salvador, 11 de noviembre de 2022

N° de Solicitud: SA2935	N° de Reporte: RA11842
<b>Datos del cliente</b>	
Empresa:	Jose Tobías Menjivar Hernández
Responsable:	Jose Tobías Menjivar Hernández
Dirección:	Col. Jardines de San Bartolo, pasaje los Mirtos sur, Casa #17, Ilopango
Teléfono:	7511-6019
E-mail:	97tobiasjose@gmail.com; mh16057@ues.edu.sv

<b>Datos de la muestra</b>	
Naturaleza:	Agua tratada, Muestra 2
Fecha de ingreso:	28/10/2022
Hora de ingreso:	03:20 pm
Fecha de análisis:	28/10/2022 a 08/11/2022
<b>Datos de recolección de muestra</b>	
Muestreo por:	Cliente

**REPORTE DE ANALISIS**

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	LINEAMIENTO TECNICO LIMITE PERMISIBLE**	METODO DE ANALISIS***
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)* mg/L	195	20	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.
Coliformes Fecales NMP/100 mL	1,700	240	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 9221-B. 1b, 2b, 9221 C y 9221-E, 23rd. Edition 2017.

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

\*\*Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada. Tabla 1. Parámetros para Reúso de Agua Residual Tratada. Sección 3.

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

mg/L, miligramos por litro      ml, mililitro

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

Las actividades que tiene repercusión sobre los resultados se realizaron bajo condiciones ambientales controladas.

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Muestra leve turbia, color café claro, olor pútrido, con escasos sedimentos y moderadas partículas en suspensión. Recibida en frasco plástico y frasco estéril.

**OBSERVACIÓN:** Los resultados no cumplen con el valor establecido por la norma de referencia.

**Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.**

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del reporte. Atentamente,

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI**

*Sulma Yanira Reyes de Serpas*  
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.  
Dirección Ejecutiva

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2017 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.



**ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE**

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-8888, (503) 2284-0223  
Email: atencioncliente@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv



Página 1 de 1

**Anexo C2. Resultados de los análisis de las muestras para determinar Coliformes Fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno a la Salida del sistema.**

### Anexo C3. Cálculo de la eficiencia de los parámetros muestreados.

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro pH del agua**

$$\text{Eficacia} = \frac{(7.99) - (7.10)}{7.99} * 100 = \mathbf{11.13\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro de la Temperatura**

$$\text{Eficacia} = \frac{(30.7\text{ °C}) - (29.2\text{ °C})}{30.7\text{ °C}} * 100 = \mathbf{4.89\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro Conductividad Eléctrica**

$$\text{Eficacia} = \frac{(2280\ \mu\text{S/cm}) - (1,079\ \mu\text{S/cm})}{2,280\ \mu\text{S/cm}} * 100 = \mathbf{52.67\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro Solidos Totales Disueltos**

$$\text{Eficacia} = \frac{(1,005\ \text{ml/L}) - (393\ \text{ml/L})}{1,005\ \text{ml/L}} * 100 = \mathbf{60.89\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro Solidos Sedimentables**

$$\text{Eficacia} = \frac{(35\ \text{mg/L}) - (9\ \text{mg/L})}{35\ \text{mg/L}} * 100 = \mathbf{74.28\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro Oxígeno Disuelto**

$$\text{Eficacia} = \frac{(1.15\ \text{ml/L}) - (2.29\ \text{ml/L})}{1.15\ \text{ml/L}} * 100 = \mathbf{-99.1\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno**

$$\text{Eficacia} = \frac{(693\ \text{mg/L}) - (195\ \text{mg/L})}{693\ \text{mg/L}} * 100 = \mathbf{71.86\%}$$

- **Cálculo de la eficiencia del parámetro Coliformes Fecales**

$$\text{Eficacia} = \frac{(1,400\ \text{NMP/100 ml}) - (1,700\ \text{NMP/100 ml})}{1,400\ \text{NMP/100 ml}} * 100 = \mathbf{21.42}$$