

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERIA

SUBSEDE MAPASTEPEC

TESIS PROFESIONAL

**SISTEMA DE HUMEDAL CON BIOFILTRO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN EL EJIDO LOMA
BONITA DE MAPASTEPEC, CHIAPAS**

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

SANDRA YESSICA SARAGOS VAZQUEZ

DIRECTORA

M en C. PAOLA SHAULY JUAN VILLARREAL

CODIRECTORA

DRA. ROSBI CRUZ ORNELAS



Mapastepec, Chiapas, noviembre 2024



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Mapastepec Chiapas
Fecha: 30 de septiembre de 2025

C. Sandra Yessica Saragos Vázquez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Sistema de humedal con biofiltro para el tratamiento de aguas grises en el Ejido Loma Bonita de
Mapastepec, Chiapas.

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dra. Isela Ponce Palma

Mtra. Amairany Velázquez Jiménez

Mtra. Paola Shaully Juan Villarreal

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Ccp. Expediente



Esta tesis se lo dedico a mi esposo y mis hijas por el esfuerzo que hicieron por mí, su apoyo incondicional y sobre todo la confianza que me depositaron.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco primeramente a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí, por no dejarme sola y por darme siempre la fortaleza para seguir adelante.

A mi esposo por su apoyo incondicional y su paciencia al compartir el cuidado de nuestras hijas para darme el tiempo necesario para los estudios, sin él no sería posible este logro.

A mis hijas, los mayores tesoros de mi vida, que contribuyeron con su conducta a mi dedicación a los estudios para ser un ejemplo para ellas.

A todo el personal académico de la UNICACH Subsede Mapastepec por brindar una educación de calidad para ser no solo una gran profesionalista, sino por formar personas con gran sentido humano, con ética y valores que ayuden a entender mejor los problemas de la sociedad.

A mi directora de tesis, la Maestra Paola Juan Villarreal y codirectora Dra. Rosbi Cruz Ornelas por compartirme sus conocimientos, sus consejos y por motivarme a seguir adelante.

A las revisoras de esta tesis Dra. Isela Ponce Palma y Mtra. Amairany Velázquez Jiménez por su apoyo y asesoría en todos los momentos de la tesis y durante toda mi carrera.

A la FQB. Leticia Victorio de Los Santos por su asesoría en la realización de los análisis de laboratorio.

A mis compañeros del grupo y de la universidad por ser mi segunda familia y por hacer que los momentos en la universidad fueran mejores.

A todas gracias

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS.....	5
INDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MARCO TEORICO	11
2.1. Aguas residuales y los tipos de contaminantes	11
2.2. Clasificación de las aguas residuales.....	12
2.3. Los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.....	13
2.4. Usos de las aguas residuales tratadas.....	15
2. 5. Ejido Loma Bonita	17
2.5.1. Clima.....	18
2.5.2. Factores edáficos	18
2.5.3. Flora	19
2.5,4. Fauna	19
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
IV. JUSTIFICACIÓN	20
V. OBJETIVOS	21
5.1. Objetivo General	21
5.2. Objetivos específicos	21
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	22
6.1. Área de estudio	22
6.2. Metodología.....	22
6.2.1. Diseño del sistema de humedal con biofiltro	22
6,2.2. Evaluación del funcionamiento del sistema de humedal con biofiltro	28
6.2.3. Evaluación de la percepción social sobre el sistema de humedal con bi ofiltro	29
Tabla 1. <i>Asignación de valores para cada respuesta</i>	30
Tabla 2. <i>Asignación de valores de los datos recabados en las encuestas aplicadas a los habitantes del ejido Loma Bonita</i>	31

6.1.	Sistema de Humedal con biofiltro construido en el ejido Loma bonita	32
7.2.	Parámetros físicos-químico del agua en cinco puntos de toma de muestras	33
Tabla 3.	<i>Parámetros físicos –químico en los puntos de muestreo del humedal</i>	<i>35</i>
7.3.	Parámetros microbiológicos en los cinco puntos de muestreo.	36
Tabla 4.	<i>Parámetros microbiológicos de los puntos de muestreos</i>	<i>37</i>
7.4.	Percepción social de los habitantes del ejido Loma Bonita sobre el tratamiento de las aguas grises.	37
Tabla 5.	<i>Rangos de disposición y conocimientos de los habitantes del ejido sobre problemas ambientales</i>	<i>38</i>
Tabla 6.	<i>Resultados generales de las preguntas con escala Likert</i>	<i>39</i>
Tabla 7.	<i>Resultados de las respuestas a preguntas abiertas realizadas a los habitantes del ejido Loma Bonita</i>	<i>44</i>
VII.	CONCLUSIONES	45
VIII.	RECOMENDACIONES	45
IX.	AGRADECIMIENTOS	46
X.	BIBLIOGRAFIA.....	47
XI.	ANEXOS.....	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Asignación de valores para cada respuesta</i>	<i>30</i>
Tabla 2.	<i>Asignación de valores de los datos recabados en las encuestas aplicadas a los habitantes del ejido Loma Bonita</i>	<i>31</i>
Tabla 3.	<i>Parámetros físicos –químico en los puntos de muestreo del humedal</i>	<i>35</i>
Tabla 4.	<i>Parámetros microbiológicos de los puntos de muestreos</i>	<i>37</i>
Tabla 5.	<i>Rangos de disposición y conocimientos de los habitantes del ejido sobre problemas ambientales</i>	<i>38</i>
Tabla 6.	<i>Resultados generales de las preguntas con escala Likert</i>	<i>39</i>
Tabla 7.	<i>Resultados de las respuestas a preguntas abiertas realizadas a los habitantes del ejido Loma Bonita</i>	<i>44</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Georreferencia del ejido Loma Bonita. Fuente: Google Earth	18
Figura3. Limpieza del área para la construcción del humedal.....	24
Figura 4. Delimitación del espacio para el humedal	24
Figura .5. Excavación de la piscina para el humedal	25
Figura 6. Colocación de impermeabilizante.....	25
Figura 7. Recolección de materiales.....	26
Figura 8. Incorporación de los materiales al humedal	26
Figura 9. Instalación de tubería PVC	27
Figura 10. Instalación de recipientes de plásticos	27
Figura 11. Funcionamiento del humedal.....	28
Figura 12. Humedal artificial instalado en una casa del ejido Loma Bonita. Fuente; Elaboración propia	33
Figura 13. Promedios generales de los elementos evaluados	40
Figura 14. Promedios generales por participantes	40
Figura 15. Importancia de los problemas ambientales del ejido Loma Bonita	41
Figura 16. Frecuencia con la que han escuchado hablar de los problemas ambientales	42
Figura. 17. Habitantes del ejido Loma Bonita que les gustaría participar en el tratamiento de las aguas de su hogar ..	43
Figura 18. Habitantes a favor de involucrarse en la experiencia del tratamiento de las aguas residuales	43

RESUMEN

Con el objetivo de construir un sistema de humedal con biofiltros para el tratamiento de las aguas grises de una vivienda en el ejido Loma Bonita del municipio de Mapastepec, se realizó una investigación documental sobre los humedales artificiales y los materiales utilizados para su construcción, para evaluar el funcionamiento y la percepción social se realizó una investigación observacional, transversal y prospectiva. La evaluación del funcionamiento del sistema de humedal con biofiltro para la depuración de contaminantes de las aguas grises se trabajó bajo la NOM-001-SEMARNAT-2021. Para comprobar la eficiencia del humedal con biofiltro utilizando la planta carrizo (*phragmites australis*), se realizaron análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, bajo la Norma NMX-AA-008-2000 y la Norma NMX-AA-042-1987, respectivamente. Las muestras fueron tomadas en los puntos importantes: reactor, humedal, salida y río arriba. Para la evaluación de la percepción social se realizaron encuestas a 12 habitantes y la información fue analizada a través de la escala Likert y análisis de clúster para las preguntas abiertas. El humedal, no realizó su función de remover los contaminantes, no eliminó los coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. Sin embargo, se obtuvieron resultados adecuados de regulación del pH, la conductividad eléctrica, temperatura y el oxígeno disuelto dentro del humedal. Además, se observó buen funcionamiento del humedal para retener sólidos suspendidos, las grasas y la disminución de la turbidez de las aguas grises. El 50% de los habitantes entrevistados tienen alto nivel de conocimientos sobre los problemas ambientales y alta disposición para colaborar en su solución, El 100% de los participantes están totalmente de acuerdo en que toda la comunidad se involucre en el tratamiento de las aguas grises. El 50% tienen conocimientos y disposición para aceptar y participar en el tratamiento de las aguas residuales.

Palabras Clave: Humedal, Parámetros físico-químico, parámetros microbiológicos, aguas grises, percepción social.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo se acrecienta la escasez de agua debido al uso indiscriminado que la humanidad realiza de este recurso (principalmente uso doméstico e industrial). Sin embargo, las aguas utilizadas en muchas actividades domésticas se vierten al medio sin un tratamiento previo que elimine los contaminantes que se agregaron durante su uso (Robledo-Sacarías *et al.*, 2017). Cuando el agua es utilizada por el ser humano, se convierte en agua residual, la cual debe ser tratada antes de ser devuelta al medio ambiente, por esta razón, es necesario en los servicios de saneamiento de una comunidad construir plantas de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de depurar la materia orgánica y reducir la carga contaminante antes de que el agua sea liberada en las redes de drenaje o en cuerpos de agua receptores, devolviendo así a la naturaleza el líquido vital en buenas condiciones y sin contaminación (Ronces y Robles, 2018).

Ante la situación de la contaminación de aguas por usos humanos, es urgente buscar nuevas alternativas tecnológicas para el tratamiento, buscando formas que sean económicas y fáciles de operar y mantener. Estas soluciones deben ser adecuadas para la realidad, especialmente en las áreas periurbanas y rurales, donde se concentran la mayoría de los puntos de descarga de aguas residuales, es por ello que la gestión sostenible de esas aguas se ha convertido en una demanda cada vez más apremiante que requiere una pronta respuesta por parte de los gobiernos municipales (Delgadillo *et al.*, 2008). Además, las características de estos sectores y la escasez de agua para riego hacen que la reutilización de aguas residuales para fines agrícolas sea una alternativa de creciente importancia en muchas zonas rurales.

En el mundo, en análisis recientes se ha sugerido que menos del 50% de la producción de aguas residuales mundiales se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno (Jones *et al.*, 2021). En este sentido en México en el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (PTARM) de la Comisión Nacional del Agua del año 2023 se informó que Chiapas tiene 65 plantas en funcionamiento de las 938 que se encuentran en operación en el país. La disposición inadecuada de las aguas grises en barrios que no son cubiertos por el sistema de alcantarillado sanitario, se refleja en el deterioro de las condiciones ambientales: existencia de charcos en las calles y la proliferación de vectores, relacionados con la aparición de enfermedades en la población más vulnerable. Delgado y Pérez (2010), plantean que en un estudio realizado en Nicaragua encontraron que las aguas grises representan el 80% del total de aguas negras que se producen en los hogares y que estas son producto de actividades cotidianas como: lavado de cuerpos, limpieza del hogar, lavado de trastes o utensilios de cocina y el lavado de ropa.

Delgado y Pérez (2010) plantean que una alternativa para el manejo de las aguas grises es la aplicación de filtros biológicos, los que se valen de procesos naturales para la purificación de las aguas, este tratamiento permite el reúso del agua tratada en riego de jardines, lavado de auto, infiltración en los suelos o bien para ser vertida un curso natural de agua superficial, teniendo en cuenta que con su limpieza en el biofiltro se disminuyen los impactos negativos que estas pudieran causar al medio ambiente. Estos autores explican que muchos de los avances tecnológicos en el tratamiento de las aguas residuales han sido basados en los procesos de la naturaleza, que mantiene un equilibrio en los diferentes ecosistemas. En esa investigación exponen como el caso de los bosques y humedales, donde sus propias plantas prestan una serie de servicios ambientales entre los cuales se encuentra el de purificación de las aguas al momento de adsorber, por medio de sus raíces, los nutrientes que son necesarios para su crecimiento y que a este proceso se le conoce como proceso de biofiltración y es de este conocimiento de donde surge la aplicación de plantas de tratamiento de aguas residuales, utilizando los biofiltros.

En México se plantea el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales como una opción ecológica y económicamente viable y se han planteado estudios para la producción de plantas ornamentales en los humedales artificiales y aunque no existe un inventario nacional de los humedales contruidos para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo en la literatura se ha demostrado la eficiencia en remover contaminantes utilizando vegetación común de humedales naturales (Marín-Muñiz, 2017).

Vymazal (2011) plantea que la principal vegetación utilizada en la región tropical y subtropical en la construcción de humedales han sido las especies características de los humedales naturales, entre ellas se encuentran *Phragmites australis* (Common reed), especies del género *Typha* (*latifolia*, *angustifolia*, *domingensis*, *orientalis* and *glauca*), *Scirpus* (*lacustris*, *validus*, *californicus* and *acutus*) spp., y especies de *C.papyrus*.

Castañeda-Villanueva y Flores-López (2013) realizaron un estudio en los altos de Jalisco para evaluar tres especies de plantas típicas de humedales naturales como son: el carrizo común (*Phragmites australis*), el gladiolo (*Gladiolus spp*) y la totora (*Typha latifolia*), los resultados encontrados por estos autores mostraron reducciones en todos los parámetros que estudiaron, por lo que plantean que las plantas evaluadas pueden ser una alternativa para la remoción de contaminantes orgánicos y nutrientes presentes en aguas residuales domésticas, plantean además, que la alternativa es de bajo costo de instalación, operación y mantenimiento.

Los resultados de los estudios anteriores demuestran que es factible aplicar tecnologías de bajo costo o que estén al alcance con los recursos de las comunidades rurales marginadas y que no cuentan con sistemas de drenaje o alcantarillados. Loma Bonita es un ejido situado en el municipio de Mapastepec en el estado de Chiapas, este ejido no tiene sistema de alcantarillado y se encuentra a orillas de un cuerpo de agua, por lo que las aguas grises se descargan directamente al río cercano causando contaminación y por lo tanto daños al medio ambiente, alterando las condiciones físico-químicas del agua y daños a la salud humana y alterando el ecosistema. Por tanto, el propósito de este trabajo es diseñar un sistema de humedales con biofiltros para el tratamiento de las aguas grises en el ejido Loma Bonita, teniendo en cuenta que este método para la depuración de las aguas residuales es menos costoso y de más fácil mantenimiento que una planta de tratamiento convencional, aunque para este tipo de tratamiento se requiera de mayores extensiones de terreno, pero según los antecedentes es igualmente muy eficaz en la eliminación de materia orgánica, elementos patógenos y nutrientes.

II. MARCO TEORICO

2.1. Aguas residuales y los tipos de contaminantes

La reutilización de aguas tratadas se ha convertido en una opción clave para aumentar la disponibilidad de recursos hídricos en las zonas con escasez de agua, debido a la baja cantidad de precipitaciones (menos de 350 mm al año) y a la alta evapotranspiración asociada con la fuerte insolación y las elevadas temperaturas, por otra parte el cambio climático representa una amenaza adicional para muchas comunidades, donde se espera que, a medio y largo plazo, las precipitaciones disminuyan y las temperaturas aumenten significativamente (Aznar-Crespo, 2019).

Las aguas residuales son aquellas cuyas características originales han sido alteradas por las actividades cotidianas del ser humano, o sea aquellas que se han utilizados en las casas, en las industrias o cualquier otra actividad humana que provoque su contaminación (Quiroz, Méndez e Izquierdo, 2013). Estas aguas requieren un tratamiento previo antes de ser reutilizadas, vertidas a cuerpos de agua o descargadas en el sistema de alcantarillado, sin embargo, Castañeda y Flores (2013), plantean que México ha presentado dificultades para el saneamiento de aguas, motivado por el déficit de infraestructuras, altos costos de instalación, operación y mantenimiento, así como falta de personal capacitado y que por esto sólo el 40.2% de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento.

Una gran parte de las aguas residuales se vierte en cuerpos receptores de agua como ríos, lagos y mares, así como en suelos, lo que provoca efectos perjudiciales como el agotamiento de oxígeno debido a la carga de contaminantes, lo que impide la supervivencia de la flora y fauna en esos cuerpos de agua que muchos son de gran importancia económica y pueden llegar a un punto de no retorno (UNESCO, 2011).

En un estudio realizado en 2003 por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), se reportó que, en América Latina, el 94 % del agua residual se descarga en cuerpos de agua o se utiliza para riego sin ningún tratamiento previo. Esto genera enfermedades infecciosas y alta mortalidad y morbilidad infantil debido a la mala calidad del agua (Cabeza y Sánchez, 2018). Por esta razón, según plantea este autor, las enfermedades diarreicas son la principal causa de muerte en niños menores de cinco años y por ello Perú decidió tratar sus aguas residuales para reutilizarlas en la agricultura y para ello, emitió la Resolución N° 0291-2009-ANA, que establece disposiciones para el otorgamiento

de autorizaciones de vertimientos y reúso de aguas residuales tratadas, con el objetivo de evitar seguir perjudicando los cuerpos receptores y preservar la flora y fauna existentes en ellos.

Las aguas residuales pueden ser contaminadas por tres clases de contaminantes entre los que se encuentran: i) contaminantes orgánicos como son las proteínas, los carbohidratos, y aceites y grasas, ii) contaminantes inorgánicos, entre ellos sales, ácidos y óxidos, iii) Contaminantes habituales en las aguas residuales entre los que se encuentran arena, nitrógeno y fosfora, agentes patógenos, Eduardo (2010), plantea que el origen de las proteínas en su gran mayoría provienen de las heces humanas o de desechos de alimentos, que son de fácil degradación, inestables y generan un olor putrefacto, desagradable para el ser humano, así mismo plantea que los carbohidratos son procedentes de los desperdicios alimenticios y de las excretas humana, estos son los azúcares, almidón y fibras celulósicas. Plantea, además, que los aceites y grasas son las sustancias que provienen de las actividades realizadas en la cocina, (desperdicios alimentarios), de naturaleza lipídica, los cuales son estables, no se mezclan con el agua debido a su menor densidad y son las que provocan la aparición de nata y espumas en la superficie de las aguas residuales. En cuanto a los contaminantes inorgánicos, este mismo autor, plantea que existen en abundancia en las aguas residuales sin importar su procedencia, que principalmente son procedentes de las industrias (aguas residuales industriales) y que los contaminantes inorgánicos son de origen mineral y tienen una naturaleza variada, ya que están compuestas por sales, ácidos, óxidos, metales y bases inorgánicas.

Eduardo (2010) plantea que las arenas son partículas de naturaleza mineral que pueden ser de tamaños variados, que se encargan de enturbiar las masas de aguas residuales cuando estas están en movimiento, y que cuando están estancadas forman depósitos de lodos y plantea que Nitrógeno y fósforo son procedentes de las aguas grises las cuales están conformadas por detergentes, fertilizantes e incluso por las heces humanas y expone que son fundamentales para deteriorar las masas, también, expone que los agentes patógenos son organismos que se encuentran en las aguas residuales en cantidades mayores o menores, las cuales pueden causar terribles enfermedades en la salud humana y en el cuerpo receptor acuático presente en las aguas residuales.

2.2. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales desechadas de diferentes actividades realizadas por los humanos, como residencias, instituciones, industrias, entre otras, han sido clasificadas según su procedencia, así se le

denomina aguas grises a las que provienen de lavabo, duchas, bañeras, lavadoras y se caracterizan por un bajo nivel de contaminantes, las aguas negras se le denomina a los que proviene de los sanitarios y tienen una alta carga de contaminantes y patógenos y las aguas industriales provienen de actividades industriales y tienen una gran variedad de contaminantes químicos, orgánicos, los que dependen del tipo de industria (Quiroz, Méndez e Izquierdo, 2013).

Según Telwesa (2023), la categorización de las aguas residuales según su procedencia es crucial para proteger el medio ambiente y la salud, además de fomentar la reutilización del agua, las aguas residuales, aquellas que han sido alteradas por la actividad humana, pueden contener diversas sustancias que influyen en su calidad, por esta razón, se emplean varios criterios para su clasificación, los que se utilizan habitualmente son: i) aguas residuales domésticas o urbanas, provenientes de actividades domésticas, ii) aguas residuales industriales provenientes de las industrias, iii) aguas residuales pluviales originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias.

En la página mencionada anteriormente (Telwesa, 2023), se plantea una clasificación para las aguas tratadas: i) Aguas Residuales Crudas que son las que no han sido sometidas a ningún tratamiento o que han experimentado un tratamiento mínimo, ii) Aguas Residuales Tratadas, que se generan después de pasar por algún proceso de tratamiento para eliminar o reducir contaminantes, iii) Aguas Residuales Parcialmente Tratadas que son las que han experimentado algún grado de tratamiento, pero no cumplen completamente con los estándares de calidad del agua, iv) Aguas Residuales Urbanas o Municipales que son aquellas generadas en áreas urbanas que incluyen una mezcla de aguas domésticas e industriales y v) Aguas Residuales Agrícolas que son las provienen de actividades agrícolas que pueden contener nutrientes, pesticidas y sedimentos.

2.3. Los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales

Según la UNESCO (2003), en los países en desarrollo se anticipa una mayor competencia por el acceso al agua en las próximas décadas, debido al crecimiento de la población, los nuevos estilos de vida y el desarrollo urbano e industrial sin una planificación adecuada, esto implica un aumento en la demanda de las ya limitadas fuentes de agua, por lo que es crucial buscar fuentes alternativas de agua, especialmente para la agricultura, que es el sector que consume el mayor porcentaje. Además, plante que la disposición final de las aguas residuales generadas por diversas actividades humanas, principalmente domésticas e industriales, es un problema en constante crecimiento, especialmente en

grandes ciudades, donde se plantea el dilema entre las aguas residuales que representan una fuente alternativa valiosa para el riego agrícola; pero por otro, su uso sin el tratamiento adecuado puede generar problemas mayores, debido a los riesgos que implica en la salud y más cuando a nivel mundial se han registrado numerosos casos de brotes de enfermedades, intoxicaciones masivas y la degradación de cuerpos de agua (Delgadillo *et al.*, 2010).

El agua, junto con el aire, la tierra y la energía, es uno de los elementos naturales esenciales que sostienen la vida en todas sus formas, sin embargo, la relevancia de la calidad del agua ha sido reconocida de manera gradual, no fue hasta finales del siglo XIX cuando se identificó como fuente de diversas enfermedades infecciosas, pero actualmente, su importancia es indiscutible (Oswald, 2011).

La experiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas ha demostrado que el éxito en su eliminación no depende únicamente de la disponibilidad de técnicas, sino también de la interacción de varios factores económicos, socioculturales, biofísicos y político-administrativos presentes en un territorio (Alvarado, 2012).

El tratamiento de aguas residuales domésticas en asentamientos humanos dispersos es un desafío relacionado con el desarrollo local sostenible, para abordar el saneamiento de estas aguas, se han desarrollado diversas tecnologías, entre ellas las conocidas como alternativas, que presentan características apropiadas para adecuarse a los diferentes casos (Díaz y Cuenca, 2012).

Los humedales artificiales son tratamientos que puede ser utilizado para mejorar la calidad del agua residual, en el cual mediante procesos biológicos se permite la degradación de la materia orgánica, además, por medio de estos sistemas se pretende llegar a soluciones económicas y modulares para el tratamiento de agua residual domestica (Silva y Zamora, 2005).

Los humedales artificiales son sistemas de fitorremediación diseñados para tratar aguas residuales y se basan en el cultivo de macrófitas enraizadas en un lecho de grava impermeabilizado, donde las plantas permiten una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas que depuran el agua residual de manera progresiva y lenta., el proceso de tratamiento de aguas residuales incluye tres fases principales: recolección, tratamiento y descarga en el lugar de restitución (Fernández, 2004).

Los humedales contruidos han sido utilizados para tratar diversos tipos de aguas residuales entre las que se encuentran 1) Aguas domésticas y urbanas, 2) Aguas industriales, incluyendo fabricación de

papel, productos químicos, farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros, 3) Aguas de drenaje de extracciones mineras, 4) Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana y 5) Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan (García, Bécares y Soto, 2004).

Los humedales eliminan contaminantes a través de varios procesos, como la sedimentación, la degradación microbiana, la acción de las plantas, la absorción, reacciones químicas y la volatilización (Stearman, 2003). De este modo, pueden sustituir el tratamiento secundario e incluso, en ciertas condiciones, el primario y terciario de las aguas residuales. El funcionamiento de los humedales artificiales se basa en tres principios fundamentales: la actividad bioquímica de los microorganismos, el aporte de oxígeno por las plantas durante el día, y el soporte físico de un lecho inerte que facilita el enraizamiento de las plantas y actúa como material filtrante, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Delgadillo *et al.*, 2010).

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: i) fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, ii) utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y iii) logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

La fitorremediación, se refiere al tratamiento de aguas contaminadas mediante el uso de plantas superiores (macrófitas) en humedales o sistemas acuáticos, ya sean naturales o artificiales (Delgadillo *et al.*, 2010). El término macrófitas, utilizado en el ámbito científico, incluye plantas acuáticas visibles a simple vista, como plantas vasculares, musgos, algas y helechos, estas plantas conforman "fitosistemas" porque utilizan la energía solar a través de la fotosíntesis, capturando la luz y transformándola en energía química para su metabolismo y funciones vitales, por lo que, al realizar estas funciones, las plantas contribuyen al tratamiento del agua (Fernández, 2004).

2.4. Usos de las aguas residuales tratadas

En México, existen problemas con la disponibilidad de agua debido a su distribución fisiográfica climática, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y el rápido aumento de las demandas para diversos usos y aunque el reúso de agua en la agricultura es una práctica común, su aplicación en la industria, servicios municipales, usos secundarios y la recarga de acuíferos es

limitada, lo que se debe al riesgo de escasez en algunas regiones del país, sin embargo, el reúso del agua se considera una opción viable para el suministro (Escalante *et al.*, 2014). Estos autores plantean que, para reutilizar las aguas residuales tratadas, se requiere una demanda de agua, disponibilidad de aguas tratadas, usuarios potenciales y la capacidad de tratar el agua para cumplir con los estándares de calidad necesarios para diferentes aplicaciones.

El uso planificado de aguas residuales en Estados Unidos comenzó en los años 20, principalmente en la agricultura en los estados de Arizona y California, en Colorado y Florida se implementaron sistemas para el reúso en entornos urbanos, pero a partir de 1965, esta normativa promovió significativamente el reciclaje y reúso de aguas residuales, se puede decir que hoy en día, muchos países practican diferentes formas de reúso, respaldadas por numerosos estudios y un ejemplo de esto se encuentran en Israel, también en España en la región de Cataluña, Japón con sistemas descentralizados y Australia, entre otros (Moeller *et al.*, 1997).

En México, especialmente en las grandes ciudades y en las áreas con mayores demandas de agua, ya se ha experimentado una situación similar, No obstante, en todo el país, tarde o temprano será necesario fortalecer e intensificar los programas de uso eficiente y racional del agua, así como los de conservación y reúso del recurso hídrico (Escalante *et al.*, 2014).

Estos mismos autores plantean que México, en algunas áreas existen compromisos previos relacionados con el agua, lo que complica el reúso, además, las tarifas del agua suelen ser bajas, lo que desincentiva su tratamiento y reúso, por ello, es fundamental comparar los costos del agua residual tratada con los costos reales de producir agua potable, ya que a esos costos se deberían sumar los beneficios derivados del ahorro en problemas de salud pública y protección ambiental; la mitigación del impacto por cambios en los estilos de vida y problemas sociales relacionados con la obtención de agua; la reducción de la explotación de aguas subterráneas y superficiales y sus efectos ambientales; la disminución de gastos en la recuperación de suelos salinizados; y, en general, la reducción en el consumo de agua limpia disponible.

Aunque los beneficios y costos son difíciles de cuantificar, sería injusto atribuirlos únicamente a los gastos del reúso, el reúso debe considerar los costos del postratamiento, conforme a las exigencias técnicas y normativas para cada uso específico, así como los costos de transporte del agua tratada hasta el lugar de su reutilización (Moeller *et al.*, 1997).

Escalante *et al.*, (2014) plantean que al analizar el inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas municipales (PTARM) del 2000 de la Comisión Nacional del Agua, el reúso

del agua residual tratada en México tenía la siguiente situación: i) México cuenta con 1132 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las que sólo se encuentran en operación 938 con un gasto instalados de 73852 litros/s, sin embargo el gasto real es de 50809 litros/s de los cuales se utilizan en diferentes actividades 10,867 litros/s para el 21.4 % del agua tratada, el resto es vertido a cuerpos de aguas receptores, ii) para riego agrícola se utilizan 3,562 litros/s lo que equivale al 33 %, en este gasto se incluyen las aguas utilizadas para el riego como son: las descargas a los drenes agrícolas, acequias de riego y el riego de forrajes iii) Los estados donde más se utiliza el agua residual tratada para riego son: Estado de México, Querétaro, Baja California Sur, el Distrito Federal, Michoacán y Puebla, iv) En usos industriales se destacan los estados de Nuevo León, Edo. de México y Coahuila que utilizan 2,810 litros/s de agua residual tratada, que equivale a un 26 % del reúso

Escalante *et al.*, (2014) plantean que le sigue en importancia el agua residual tratada que es utilizada para el riego de áreas verdes con un total de 1,628 litros/s que equivalen a un 15% del agua residual tratada reusada y que los estados donde más se utiliza el agua residual tratada en riego de áreas verdes son: Quintana Roo, San Luis Potosí, Nuevo León y el Distrito Federal, también se lleva a cabo el reúso en otras actividades como son: En el Distrito federal se usan 2,100 litros/s que equivale al 19.3 % del agua reusada para el riego agrícola y de áreas verdes, en este mismo sitio se utilizan 488 litros/s que equivalen a un 4.5% del agua residual reusada para el riego de áreas verdes y usos industriales.

2.. 5. Ejido Loma Bonita

El ejido de Loma Bonita, está situado en el Municipio de Mapastepec, Estado de Chiapas, México, se encuentra en las coordenadas GPS: longitud -92.864444” W, latitud 15.599444” N, a una altura de 960 metros sobre el nivel del mar.

El ejido Loma bonita cuenta con una población total de 50 habitantes de ellos 21 son mujeres y 29 hombres. El 54% de la población mayor de 12 años se encuentra activa laboralmente. Las familias viven en 11 casas y sólo cuentan con una escuela (Primaria Conafe).



Figura 1. Georreferencia del ejido Loma Bonita. Fuente: Google Earth

2.5.1. Clima

El clima en el ejido “Loma Bonita” es cálido subhúmedo con lluvias en verano, las precipitaciones varían en el año desde 1000 mm a 2500 mm, la temperatura media anual es mayor de 22 °C y temperatura del mes más frío de 18 °C.

2.5.2. Factores edáficos

Por su ubicación geográfica el ejido “Loma Bonita” presenta suelos dominantes: cambisol y fluvisol, el termino cambisol deriva de vocablo latino cambiare que significa “cambiar”, haciendo alusión al principio de diferenciación de horizontes manifestado por cambios en el color, la estructura o el elevado contenido de carbonatos, entre otros. Se localizan en lomeríos de pendientes suaves, sierras de laderas tendidas y algunas zonas de llanuras inundables, donde los climas son templados, semicálidos y cálidos, húmedos y subhúmedos, que propician el crecimiento de una variada gama de asociaciones vegetales.

Estos suelos se forman a partir de calizas, conglomerados, rocas ígneas y aluviones. Están constituidos por un horizonte A ocrice de color pardo amarillento, pardo rojizo, o gris oscuro, con textura de arena migajosa o migajón arcilloso, el cual descansa sobre un horizonte de cambio cuyo color es pardo pálido, pardo rojizo oscuro o gris muy oscuro en tanto que su textura varia de migajón arenoso a arcilloso-arenoso.

Fluvisol, son suelos que se originan de depósitos aluviales recientes, constituidos de materiales sueltos que no forman terrones; son suelos poco desarrollados se localizan en hondonadas a orilla de ríos y arroyos que descienden de la sierra.

2.5.3. Flora

Pueden encontrarse especies de maderas preciosas como el Cedro (*Cedrus*), Primavera (*Primula acaulis*), Hormiguillo (*Platymiscium dimorphandrum*), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), Roble (*Quercus robur*) y Tepemixtle (*Swietenia macrophylla*). Entre los frutales se encuentra el Aguacate (*Persea americana*), el Mamey (*Pouteria sapota*), Chayote (*Sechium edule*), Mango (*Mangifera indica*), Mandarina (*Citrus reticulata*), Plátano (*Musa balbisiana*), Guanábana (*Annona muricata*), Papaya (*Annona macrophyllata*) y Caspirol (*Inga laurina* (Sw.) Willd), entre otros. El tipo de vegetación es el común de climas tropicales, muestra por ejemplo tres comunidades vegetales: la selva alta subperennifolia con especies como el Hormiguillo (*Platymiscium dimorphandrum*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Ceiba o Pochota (*Ceiba pentandra*), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), Canelo (*calycophyllum*), Guayabo volador (*Terminalia oblonga*).

2.5.4. Fauna

En las altas montañas pueden encontrarse a lo que se le considera como el ave representativa del estado: el Pavón (*Oreophasis derbianus*), desafortunadamente en vías de extinción. También se encuentran: Pava (*Penelope purpurascens*), Colibrí (*Trochilidae*), Águila arpía (*Harpia harpyja*), Gavilán (*Accipiter nisus*), Perico mexicano (*Psittacara holochlorus*), Calandria (*Mimus saturninus*), Zorrillo (*Mephitidae*), Jabalí (*Sus scrofa*), Mapache (*Procyon*), Armadillo (*Dasypodidae*), Mariposas (*Lepidoptera*), Chupamieles (*Anchusa officinalis*), Cenzontle (*Mimus polyglottos*), Zanate (*Quiscalus*), zopilote negro (*Coragyps atratus*), Palomas (*Columba livia*), Tórtolas (*Zenaida auriculata*), Tucán de cuello amarillo (*Ramphastos sulfuratus*) y gran diversidad de aves de gran belleza como el Quetzal (*Pharomachrus mocinno*), además, Mono araña (*Ateles*), Puercoespín (*Hystrix cristata*), Osos hormigueros (*Vermilingua*), Ardillas (*Sciuridae*), Puma (*Puma concolor*), Jaguar (*Panthera onca*), Gato montés (*Felis silvestris*), Tlacuache (*Didelphimorphia*), Conejo (*Oryctolagus cuniculus*), Víbora de cascabel (*Crotalus durissus*), Coralillo (*Lampropeltis triangulum*), Falso coral, (*nauyaca, chichicua*), Cantil (*Agkistrodon bilineatus*), e infinidad de insectos.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disposición inadecuada de las aguas grises en barrios que no cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario es un problema crítico que impacta tanto la salud pública como el medio ambiente, así las aguas grises, que provienen de actividades cotidianas como lavar la ropa, los platos o ducharse, al no ser tratadas adecuadamente, se acumulan en las calles, formando charcos estancados que favorecen la proliferación de vectores como mosquitos, roedores y otros insectos, además estos vectores son conocidos por ser transmisores de enfermedades como el dengue, la malaria y otras infecciones gastrointestinales, afectando desproporcionadamente a la población más vulnerable, especialmente niños y ancianos (Delgado y Pérez, 2010).

Por otra parte, la mala disposición de las aguas grises contribuye al deterioro del entorno, generando malos olores, contaminación del suelo y en ocasiones infiltrándose en las fuentes de agua subterráneas, agravando la crisis hídrica y poniendo en peligro la calidad del agua potable. La falta de infraestructuras adecuadas y el escaso acceso a servicios públicos esenciales en estos barrios perpetúan ciclos de pobreza y desigualdad. El ejido “Loma Bonita” situada en el municipio de Mapastepec, es una zona rural que se encuentra a orilla de un cuerpo de agua. Es una zona marginada que no cuenta con recursos para cubrir algunas necesidades básicas, entre ellas el sistema de alcantarillado, lo que ocasiona que los desechos de aguas grises de la comunidad se filtren al río cercano causando daños al medio ambiente, alterando las condiciones físico químicas del agua y daños a la salud humana, al igual que al ecosistema, por lo que se plantea la elaboración de un sistema de tratamiento de aguas grises, humedales con biofiltro casero, para mitigar el impacto de los problemas ambientales y del entorno. Los sistemas de tratamiento de humedales utilizan una tecnología simple que encajan muy bien tanto en la gestión de una sola casa como en el enfoque de sistemas de conglomerados de densidad media, los humedales se pueden emplear en pequeñas comunidades rurales.

IV. JUSTIFICACIÓN

Los humedales artificiales con biofiltros ofrecen una solución ecológica para el tratamiento de aguas grises, disminuyendo los impactos negativos causados por su mala gestión, al mejorar la calidad del agua antes de ser devuelta a la naturaleza libres de grasas, aceites y sólidos suspendidos, estos biofiltros no solo contribuyen a elevar el nivel de vida de las personas, sino que también embellecen el entorno natural (Delgado y Pérez, 2010).

El presente trabajo desarrollado en el ejido Loma Bonita, municipio de Mapastepec permite minimizar los contaminantes existentes en las aguas grises, de tal forma que las aguas tratadas se puedan reutilicen para riego de hortalizas y minimizar impactos negativos en los sistemas acuáticos tales como la contaminación del recurso hídrico, muerte de las especies que ahí habitan, entre otros.

- El sistema de tratamiento se realizó con biofiltros, utilizando la planta “carrizo” (*Phragmites, Australies*) como una rizofiltración de contaminantes, la cual tiene la función de absorber las sustancias químicas de las aguas grises por medio de sus raíces. Dentro de este trabajo se determinó los parámetros físicos (color, olor, turbidez) y químicos (pH y conductividad eléctrica) bajo la normatividad aplicable NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación. Esta norma plantea además que se debe cumplir con la obligación establecida en el artículo 85 de la Ley de Aguas Nacionales relativa a que las personas físicas o morales, que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier actividad, serán responsables de realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y, en su caso, para reintegrar las aguas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior, y mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Construir un sistema de humedal con biofiltros para el tratamiento de las aguas grises de una vivienda en el ejido Loma Bonita del municipio de Mapastepec.

5.2. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de humedal con biofiltro para una vivienda en la comunidad de Loma Bonita, con la selección de materiales necesarios para la depuración de las aguas grises.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de humedal con biofiltro para la depuración de contaminantes de las aguas grises de una vivienda en el ejido Loma Bonita.
- Determinar la percepción social sobre el sistema de humedal con biofiltro para el tratamiento de aguas grises en el ejido Loma Bonita.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

Para realizar el trabajo de investigación de la construcción de un sistema de humedal con biofiltro, se seleccionó el ejido Loma Bonita del municipio Mapastepec porque no tiene sistema de alcantarillado para la recolección de sus aguas grises. Este ejido desecha las aguas grises directamente a los cuerpos de agua, por lo que estos se contaminan y afectan a las comunidades que se encuentran aguas abajo.

Se realizó la consulta informada a las personas del ejido Loma Bonita, quienes se mostraron interesados y brindaron su apoyo, además, se consultó al comisariado ejidal, la señora Enedina Hernández Pérez, quien muy amablemente, decidió dar acceso a su domicilio para la implementación de la investigación.

6.2. Metodología

6.2.1. Diseño del sistema de humedal con biofiltro

Para diseñar el sistema de humedal con biofiltro para una vivienda en el ejido de Loma Bonita, se realizó una investigación documental sobre los humedales artificiales y los materiales utilizados en su construcción, lo que permitió llegar a la selección de los siguientes materiales que tienen función en la depuración de las aguas grises para lo cual se combinó las experiencias de utilización de los materiales y experiencia del uso de los biofiltros en la construcción de humedal artificial con flujo superficial, no se utilizó un método específico, se combinaron los conocimientos sobre los materiales a utilizar.

Materiales de construcción seleccionados:

- Grava de un espesor de 15 cm de circunferencia
- Grava arena.
- Tubos de PVC (entrada).

Tubos de PVC (salida).

- Tambos de 60 L de plástico.
- Válvula (para desaguar la célula).
- Acoples hidráulicos para la instalación de los tubos.
- Vegetación (*phragmites australis*).
- Palas

- Picos
- Flexómetro
- Piedras de 10 cm de circunferencia
- Nylon 2 metros de ancho* 3 metros de largo.
- Pulidora con disco de corte.
- Taladro eléctrico para las perforaciones en los tubos de PVC.

Dimensiones del humedal

Después de la selección de los materiales se procedió al diseño del humedal para ello se establecieron las siguientes dimensiones:

Largo: 3 m

Ancho: 1 m

Profundidad: 60 cm

Desengrasantes y sólidos:

Altura: 80 cm

Longitud de tuberías de PVC: 36 m

En la Figura 2. Se muestra el diseño del sistema de humedal con biofiltro.

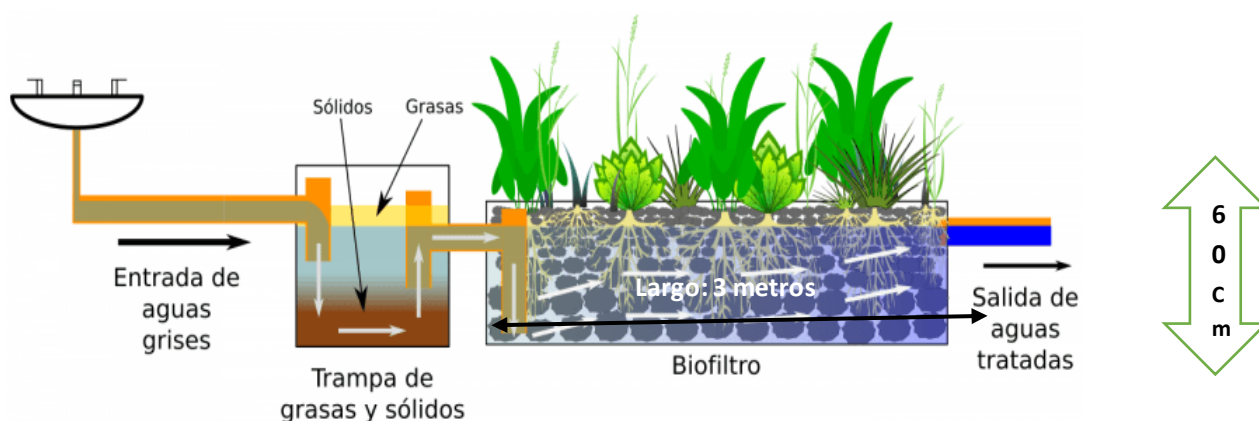


Figura 2. Esquema completo biofiltro, humedal construido de flujo superficial para aguas grises domésticas. Fuente: Google 2024.

Una vez diseñado se procedió a su construcción siguiendo las siguientes fases:

Fase 1

- Limpieza del área para la construcción del humedal. Se seleccionó el lugar tomando en cuenta que el espacio fuera adecuado para el buen funcionamiento del sistema y evitar gastos excesivos de material (Figura 3).



Figura3. *Limpieza del área para la construcción del humedal*

- Delimitación del área para el humedal. Se procede a medir el espacio requerido para el sistema, así como también tomar en cuenta la cantidad de material a utilizar (Figura 4).



Figura 4. *Delimitación del espacio para el humedal*

- Se realizó una excavación a 60 cm de profundidad del humedal y 1 m de ancho por 3 m de largo, formando una piscina con una capacidad de 1.8 m³ de almacenamiento de acuerdo al cálculo del caudal de descarga de aguas grises (Figura. 5).



Figura .5. *Excavación de la piscina para el humedal*

Fase 2

- Colocación impermeabilizante de la piscina. Se colocó el impermeabilizante del humedal para que no se filtre el agua en el suelo. (Figura 6).



Figura 6. *Colocación de impermeabilizante*

- Recolección de materiales para la construcción del humedal: se hizo la recolección en el área de diferentes materiales como son: arena, grava y piedras, las cuales forman parte del sistema de humedal. Estos materiales son los que actúan como biofiltros para retener las grasas y sólidos que contengan las aguas grises (Figura 7).



Figura 7. *Recolección de materiales*

- Se incorporó dentro de la piscina la grava, piedra y arena, al igual que tuberías de PVC de 2 pulgadas para la respiración aeróbica del sistema (Figura 8).



Figura 8. *Incorporación de los materiales al humedal*
Fase 3

- Instalación de la tubería de PVC desde las áreas del lavado, también se colocó mallas de alambre para atrapar los sólidos que se pudieran generar en el lavado, durante la colocación de las rejillas se utilizó herramientas como pulidoras de corte, flexómetros, martillo, cincel y también se utilizó pegamentos para PVC, se ocupó dos Kg de cemento Cruz Azul y arena para hacer la mezcla y pegar los tubos sobre el lavado. Posterior a esto se empataron 36 m de tubos de PVC que condujeron a las trampas de sólidos y grasas (Figura 9).



Figura 9. *Instalación de tubería PVC*

- Instalación de los recipientes de plástico que actúan como reactores para recolección de las aguas grises los cuales realizan la función de la separación de sólidos suspendidos y grasas que se mantienen en la superficie del agua (Figura 10).



Figura 10. *Instalación de recipientes de plásticos*

- En la colocación de estos dos recipientes se perforaron en la parte superior para tener entrada de los tubos que conducen las aguas grises del lavabo.
- En el segundo reactor se colocó una tubería que conduce hacia el humedal las aguas que salen, las que llevan menos concentración de sólidos y grasas.

- Posteriormente, como biofiltro, se colocaron las plantas “carrizo” (*phragmites australis*) que realizaron la función de captar el carbono y metales pesados durante el proceso de filtración.
- El humedal que se realizó en este proyecto es de flujo horizontal sub-superficial se consideró las pendientes naturales que proporcionó el área de trabajo.
- El último proceso realizado fue captar toda el agua filtrada del humedal para evaluar la funcionalidad del humedal con biofiltro y decidir un destino final, ya fuera para riego de hortalizas o bien para descarga directa a un cuerpo de agua garantizando que el agua filtrada a reducido su concentración de contaminante (Figura. 11).



Figura 11. *Funcionamiento del humedal*

6,2.2. Evaluación del funcionamiento del sistema de humedal con biofiltro

Para evaluar el funcionamiento del sistema de humedal con biofiltro para la depuración de contaminantes de las aguas grises se realizó una investigación observacional, transversal y prospectiva, para esto se aplicaron las normas establecidas de la siguiente manera:

- Cumpliendo con la normatividad aplicable (límite máximos permisibles) NOM-001-SEMARNAT-2021. Establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
- Análisis de agua-medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba NMX-AA-004-SCFI-20139.
- Análisis de agua-medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba (cancela la NMX-AA-007-SCFI-2013).

- Análisis de agua- medición de ph en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba NMX-AA-008-SCFI-2016.

Para comprobar la eficiencia del humedal con biofiltro utilizando la planta carrizo (*phragmites australis*), se realizó un análisis en los parámetros físico-químicos, bajo la Norma NMX-AA-008-SCFI-2016. Se realizó análisis al agua, para esto se tomaron en consideración los puntos importantes para realizar la toma de muestras los cuales son: reactor, humedal, salida, río arriba y río abajo, en los cuales se llevó acabo la medición de los parámetros físico-químicos, tales como; PH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez.

Para comprobar la eficiencia del humedal con biofiltro utilizando la planta “carrizo” (*phragmites australis*), en los parámetros microbiológicos se realizó un análisis bajo la Norma NMX-AA-042-SCFI-2015, consideración los puntos importantes para realizar la toma de muestras. Esta Norma Mexicana establece un método para la detección y enumeración en agua de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva (*E. coli*) mediante el cultivo en un medio liquido en tubos múltiples y el cálculo de sus números más probables (NMP) en la muestra.

6.2.3. Evaluación de la percepción social sobre el sistema de humedal con biofiltro

En la investigación se trabajó la percepción social de los habitantes del ejido Loma Bonita sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales con biofiltro, teniendo en cuenta que es una tecnología nueva en un territorio marginado que carece de sistemas de alcantarillados y acueductos y donde las aguas grises son vertidas a las fuentes de agua sin tratamiento previo, se consideró importante la opinión de las personas con el fin de que la tecnología pueda ser generalizada en la comunidad y contribuir de una manera más eficiente a la mejora ambiental de las fuentes de agua natural.

Para el estudio de la percepción social y la actitud se aplicaron encuestas con siete preguntas abiertas y cerradas a 12 personas del ejido Loma Bonita. Las encuestas abarcaron los siguientes temas: i) La importancia del tratamiento de aguas grises en el ejido y su contaminación de fuentes de agua, ii) Conocimiento e importancia de los problemas ambientales, iii) Conocimiento y aceptación de la tecnología de tratamiento de aguas grises aplicada.

Para el procesamiento estadístico primeramente se plasmó en un documento Excel, que fungió como herramienta para el análisis de los datos, donde con ello se elaboró gráficas que permitieron visualizar de mejor manera la información que se recabó para su análisis. Se utilizó la escala Likert que

básicamente es una herramienta que permite medir actitudes y grados de conformidad de las personas a quienes se encuestan con cualquier afirmación que se les proponga. Esta escala es de utilidad en este trabajo porque ayuda a descubrir los niveles de conocimientos, actitud y disposición, es decir qué tan dispuestos están los habitantes del ejido Loma Bonita a realizar un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Dentro de la metodología de la escala Likert, se obtuvieron los resultados para el previo análisis, por lo que para cada respuesta dada por los habitantes se le atribuyó valores que van desde el 1 al 5 como se muestra en la tabla 1, dando así la sumatoria de cada persona y la sumatoria de cada pregunta (tabla 1).

Respuesta de elemento	Valor	Respuesta de elemento	Valor
Nunca	1	Totalmente en desacuerdo	1
Raramente	2	En desacuerdo	2
Ocasionalmente	3	Indeciso	3
Frecuentemente	4	De acuerdo	4

Tabla 1. *Asignación de valores para cada respuesta*

Para obtener los valores de conocimiento y disposición de las preguntas que se les aplicó a los habitantes del ejido Loma Bonita se tomaron en cuenta cuatro preguntas, que son consideradas como preguntas cerradas y que entran en la clasificación de la escala Likert (Tabla 2), hubo cinco respuestas para cada pregunta, donde la respuesta negativa tiene el valor más bajo(1) y la respuesta positiva tiene el valor más alto (5), es así que dependiendo de lo que los habitantes respondieron fue el valor que se les dio en cada pregunta, con base a esos mismos valores se calcula el valor por sujeto que es la suma del valor de cada respuesta que dio cada habitante encuestado, que fueron un total de 12.

No	Sujetos encuestados	Valores escala Likert por preguntas				Valor por sujetos
		1	2	3	4	
1	Juan A. Sánchez	2	1	1	5	9
2	Delguer Pérez	5	1	5	5	16
3	Jard	5	1	5	5	16
4	Eneyda Edith	5	2	5	5	17
5	Urbindo	5	5	5	5	20
6	Isaías García Pérez	5	2	5	5	17
7	Abelardo Mesias Gonzales	5	3	5	5	18
8	Cristian García	1	2	1	5	9
9	Elias Pérez	4	5	5	5	19
10	Moises Garcia Hernández	5	2	4	5	16
11	Santos Morales	5	2	5	5	17
12	Fausto Sargento Pérez	4	2	4	5	15
Valor por pregunta		51	29			

Tabla 2. *Asignación de valores de los datos recabados en las encuestas aplicadas a los habitantes del ejido Loma Bonita*

De los valores por sujetos se tomaron el valor más bajo y un valor por encima del valor más alto. Al valor más alto se le resta el total de encuestado y eso da el primer rango para una alta disposición o un alto conocimiento. Al valor resultante se le restó uno y a ese resultado se le resta la cantidad de encuestados y así sucesivamente se establecen los tres rangos alta disposición o conocimiento, media disposición o conocimientos y baja disposición o conocimientos. Estos resultados ayudan a caracterizar las percepciones de los habitantes.

Las restantes tres preguntas de la encuesta se les dio un tratamiento de preguntas abiertas, formando clúster con las respuestas recibidas en cada una de ellas de los 12 habitantes encuestados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Sistema de Humedal con biofiltro construido en el ejido Loma bonita

En la Figura 12 se muestra el sistema de humedal con biofiltro diseñado y construido en una vivienda del ejido Loma Bonita. La estructura más común de un humedal artificial es un lecho relleno de grava y arena colocado sobre una superficie impermeable (arcilla o geo membrana) y plantas acuáticas macrófitas cuyas raíces liberan oxígeno evitando que el sedimento se vuelva anóxico. Existen tres tipos de humedales artificiales: i) De flujo superficial libre, ii) Flujo horizontal sub-superficial y iii) Flujo vertical. El humedal mostrado en la ilustración es un humedal de flujo horizontal superficial, donde se aprovechó la pendiente del terreno para su construcción. Silva y Zamora (2005) desarrollaron un estudio de los humedales de sistemas de flujo libre (FWS), en este tipo de humedal el agua está sobre la superficie del medio de soporte, en este tipo de humedal el flujo de agua pasa a través de la grava y de la vegetación que incluye juncos, cañas, espadañas y eneas, que están sembradas y fijas, en este sistema los tallos, hojas y raíces proporcionan el oxígeno al humedal y el sistemas de flujo subsuperficial (SFS), estos mismos autores plantean que este humedal está construido en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado para la filtración; sin embargo plantean que la vegetación emergente es la misma del FWS. Y que el nivel del agua está por debajo de la superficie del soporte, el agua fluye únicamente a través del lecho de grava que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que se encarga en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho.

Silva y Zamora (2005) plantean que las aplicaciones para humedales artificiales son muchas y muy variadas e incluyen tratamiento de aguas residuales municipales, industriales y agrícolas; el tratamiento con humedales también ha sido usado en aguas subterráneas contaminadas y el departamento de defensa de los Estados Unidos para tratar aguas efluentes del lavado del equipo militar.

Las aguas grises entraron al humedal y pasaron por los diferentes filtros sin ningún tipo de problemas. A continuación, se muestra la Figura 12.



Figura 12. Humedal artificial instalado en una casa del ejido Loma Bonita. Fuente; Elaboración propia

7.2. Parámetros físico-químico del agua en cinco puntos de toma de muestras

En la tabla 3 se muestran los resultados del análisis de los parámetros físico-químicos en cada uno de los puntos seleccionados para la toma de muestras. De acuerdo con el resultado que se observa respecto a el pH, el humedal está haciendo la función de regular el pH de las aguas grises, se puede observar que en el primer reactor el valor del PH fue de 8.37 mostrando un agua residual alcalina, a

diferencia del pH del agua dentro del humedal que se encuentra en 7.06 y a la salida del humedal el pH muestra un valor de 7.40, lo que demuestra que estas aguas son neutras. En cuanto a la eficiencia de del humedal con biofiltro, Rodríguez (2020) encontró una disminución del 40% de todos los parámetros de aguas residuales domesticas al utilizar un biofiltro con plantas acuáticas.

El pH se utiliza como una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa, Delgadillo Pérez y Andrade (2010) plantean valores de pH para aguas residuales urbanas entre 6.5 y 8.5, plantean, además, que en pH con valores elevados por encima de 9.2 tienen efectos inhibidores para *E. Coli* y cuando los valores se encuentran entre 6.5 y 8.5 es muy favorable para la vida de especies acuáticas, sin embargo, en un pH ácido se disuelven los metales pesados y en un pH alcalino los metales precipitan lo que puede ser beneficioso. Estos autores también plantean que en países como Bolivia la normativa establece como valores admisibles de pH a los comprendidos entre 6 a 9, para todas las clasificaciones de uso de aguas, lo cual concuerda con los valores obtenidos en este trabajo.

En lo que respecta a aguas arriba y aguas abajo, se observó que en aguas arriba el pH es neutro, ya que no hay asentamiento humano, por lo tanto, no ha habido perturbaciones por actividades humanas que puedan alterar estas aguas, al contrario de aguas abajo que se encuentra con un pH de 8.11 derivado a las actividades realizadas en la comunidad tales principalmente las descargas de sus aguas grises. Los resultados del pH en la salida del humedal concuerdan con lo informado por Robledo-Zacarías *et al.*, (2017) al trabajar aguas residuales urbanas, las que plantean cumplen con la NOM-001-ECOL-1996, de valores de pH y contaminantes para ser utilizadas las aguas tratadas en la agricultura.

Puntos de muestreo	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura	Oxígeno disuelto	Turbidez
Reactor	8.37	299 μ S/cm	26°C	6.86 mg/L	68 NTU
Humedal	7.06	984 μ S/cm	26.2°C	9.04 mg/L	102 NTU
Salida	7.40	642 μ S/cm	25.9°C	8.43 mg/L	27.91 NTU
Río arriba	7.93	1042 μ S/cm	25.8°C	9.01 mg/L	1.39 NTU
Río abajo	8.11	101.3 μ S/cm	25.8°C	8.86 mg/L	8.08 NTU

Tabla 3. *Parámetros físicos –químico en los puntos de muestreo del humedal*

La conductividad se define como la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua y da una idea del contenido total de sales en el agua, cuanto más elevada sea la conductividad mayor será el contenido en sales; se ha encontrado que en aguas con conductividad eléctrica de menos de 1200 μ S/cm no suele presentarse ningún problema (Canovas-Cuenca, 1986). Dentro del humedal se obtuvo una conductividad de 984 μ S/cm dado a que dentro del humedal se encuentran materiales conductores que son capaces de conducir electricidad. En río arriba se encuentra un valor de 1042 μ S/cm debido a que la tierra y las rocas descargan iones en las aguas.

Con respecto a la temperatura se encontró un descenso, ya que en el reactor se encuentra la temperatura en 26°C, dentro del humedal 26.2°C y en la salida del efluente la temperatura baja a 25.9°C. Río arriba y río abajo tienen una temperatura similar de 25.8°C.

El oxígeno disuelto es muy importante para los ecosistemas acuáticos, cuando su concentración es alta, es más probable que el entorno sea sano y estable, ya que permite mantener diversidad de organismos, si se tiene una concentración de 5 a 6 ppm, hay oxígeno suficiente para la mayor parte de las especies, ya una concentración menor de 3 ppm es dañina para el ecosistema, además sugiere que las aguas están contaminadas (Saldña *et al.*, 2006), partir de este punto hacia abajo el ecosistema experimenta hipoxia y menor de 2 ppm, es fatal para la mayor parte de las especies. El valor de oxígeno disuelto que

se encuentra dentro del humedal es de 9.04 mg/L dado a que las plantas que se encuentran dentro liberan oxígeno evitando que el sedimento se vuelva anóxico, teniendo como resultado un mayor valor en comparación al valor en el reactor y la salida del efluente. De igual manera en río arriba y río abajo el valor del oxígeno disuelto es similar al humedal dado a las condiciones en que ambas se encuentran.

La medición de la turbidez del agua indica de forma indirecta cuánta luz es absorbida por las partículas en suspensión o contaminantes en forma de partículas, tomando como referencia la escala de Unidades Nefelométricas de Turbidez o NTU, cuanto más alto es el valor, mayor contenido de partículas contendrá el agua. Así, los valores de turbidez pueden variar de 0 a 1000 NTU. Una muestra clara tendría un valor de 0 y una muestra muy contaminada con sedimentos podría tener valores de hasta 100000 NTU o más (Marco *et al.*, 2004). En el análisis de la turbidez, se encontró que en el reactor hay un valor de 68 NTU, dentro del humedal se eleva este valor 102 NTU debido a los materiales que se encuentran dentro de esta, en la salida se obtiene este valor reducido a 27.91 NTU, lo que indica que el humedal está realizando la función de remover los sólidos suspendidos que se encuentren dentro de estas aguas grises. En río arriba la turbidez del agua se encuentra con un valor de 1.39 NTU dado a que en esta zona no es habitada, por lo cual las actividades antropogénicas no afectan a este ecosistema, a diferencia de aguas abajo que se obtuvo un valor de 8.08 NTU debido a las descargas de aguas grises que se realizan en esta comunidad y que está provocando una alteración en la turbidez del agua.

7.3. Parámetros microbiológicos en los cinco puntos de muestreo.

En la tabla 4 se muestran los resultados de los parámetros microbiológicos en los puntos de muestreo, los cuales fueron: reactor, humedal, salida, río arriba y río abajo. Los parámetros microbiológicos medidos fueron; coliformes totales, coliformes fecales y presencia o ausencia de *Escherichia coli*, el valor del resultado está bajo la medida del Numero Más Probable (NMP) por 100 mililitros y en el caso de la *E. coli* el resultado fue cualitativo, lo que indica presencia o ausencia de esta bacteria.

Los resultados de coliformes totales, muestran que, tanto en el reactor, como en el humedal, en la salida del humedal, río arriba y río abajo se encontró presencia de coliformes totales con un valor de ≥ 2400 NMPx100ml, lo cual indicó un alto riesgo de la presencia de organismos que pueden causar enfermedades. Las presencias de estas bacterias no indican que haya presencia de coliformes fecales.

Puntos de muestreo	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>E. Coli</i>
Reactor	≥ 2400 NMPx100ml	≥ 2400 NMPx100ml	Presencia
Humedal	≥ 2400 NMPx100ml	≥ 2400 NMPx100ml	Presencia
Salida	≥ 2400 NMPx100ml	≥ 2400 NMPx100ml	Presencia
Río arriba	≥ 2400 NMPx100ml	≥ 460 NMPx100ml	Presencia (menor)
Río abajo	≥ 2400 NMPx100ml	≥ 2400 NMPx100ml	Presencia

Tabla 4. *Parámetros microbiológicos de los puntos de muestreos*

De igual manera en coliformes fecales se observó presencia en todos los puntos de muestreo, a excepción de río arriba que se obtuvo una menor cantidad con ≥ 460 NMPx100ml. Resultados similares de Coliformes totales informó Saldiñas *et al.* (2006) al analizar las aguas de una presa de agua dulce con vertimiento de residuos.

Se observó que en todos los puntos de muestreo se encontró la presencia de *E. coli*, encontrándose en menor concentración en el punto de muestreo río arriba.

7.4. Percepción social de los habitantes del ejido Loma Bonita sobre el tratamiento de las aguas grises.

Según Gómez y Gómez (2022) la percepción ambiental se define como la toma de conciencia del hombre por el ambiente en el cual se encuentra inmerso y en este proceso aprende a protegerlo y cuidarlo de la mejor manera, por lo que es importante diagnosticar la percepción que tienen los habitantes del ejido Loma Bonita y una manera de realizar el acercamiento a las personas es analizando sus percepciones a través de la escala Likert.

La escala Likert permitió conocer la percepción reflejada en la disposición y el conocimiento de los habitantes del ejido Loma Bonita sobre problemas ambientales y la construcción de un sistema para el tratamiento de las aguas grises en una casa vivienda de la comunidad. En la tabla 5 se muestran los niveles

de disposición y de conocimientos que tienen los habitantes para aceptar y desarrollar un sistema de tratamiento de aguas grises.

Niveles de disposición y conocimientos	Rango	Número de personas
Alta	20 a 17	6
Media	16 a 13	4
Baja	12 a 9	2

Tabla 5. Rangos de disposición y conocimientos de los habitantes del ejido sobre problemas ambientales

Se observa que de los 12 habitantes entrevistados la mayor cantidad (seis) tienen alto nivel de disposición y conocimientos, cuatro participantes en las encuestas presentan valores medios y dos presentan niveles bajos. Se observa el 50% muestra conocimientos y disposición a un nivel alto y el otro 50% muestran nivel medio y bajo. En este sentido la situación encontrada se relaciona con lo planteado por Pasek, (2004) quien obtuvo resultados que demuestran poca preocupación por lo ambiental y refiere a lo dicho por Casa (2000) “es sabido que en la escuela al igual que en el resto de la sociedad, pareciera no brindársele la importancia que se debe a los temas ambientales, tal vez por la carencia de una cultura ecológica desde épocas anteriores” poseen una “conciencia semintransitiva, y limitada a satisfacer desafíos relativos a necesidades biológicas.”

Teniendo en cuenta estos planteamientos se deduce que en las comunidades humanas las personas están más preocupadas por resolver sus necesidades de supervivencia, para lo cual necesitan utilizar los recursos naturales y a través de ellos lograr la economía necesaria y en esa ocupación pocos valoran los problemas ambientales que generan, pero ese comportamiento es una tradición que tiene que ver con lo cultural y con la falta de una educación ambiental.

En la tabla 6 se presenta los resultados generales de las cuatro preguntas trabajadas con la escala Likert. Se puede apreciar que en la mayoría de los elementos evaluados con las preguntas tienen una calificación superior a 3.5, con excepción del punto frecuencia con la que se ha escuchado hablar de temas ambientales en el ejido Loma Bonita que tiene una calificación de 2.4. La baja calificación obtenida en este último aspecto está relacionada con lo planteado anteriormente de la ausencia de una educación

ambiental y en este aspecto se concuerda con lo planteado por Pasek, (2004) quien planteó que es necesario una alfabetización ambiental para el hombre que incluya el conocimiento de la realidad ambiental, así como la identificación de sus problemas, la comprensión de los procesos sociales, históricos y ecológicos, el desarrollo de una sensibilidad ambiental y la búsqueda de soluciones y medios de acción disponibles.

Elementos evaluados	Media
Importancia de los problemas ambientales	4.3
Frecuencia con la que ha escuchado hablar de temas ambientales en su comunidad	2.4
Le gustaría participar en el tratamiento de las aguas residuales de su hogar antes de ser vertidas al río	4.2
Importancia de que se involucre toda la comunidad en la experiencia del tratamiento de aguas residuales	5

Tabla 6. *Resultados generales de las preguntas con escala Likert*

A continuación, se muestran gráficamente los resultados encontrados. En la figura 13. Aparecen los promedios generales por preguntas evaluadas, se observa que en la pregunta cuatro se alcanza un valor de cinco puntos, lo que demuestra que los 12 participantes están totalmente de acuerdo en que es muy importante que toda la comunidad se involucre en el tratamiento de las aguas grises. Este resultado muestra que cuando los hombres son informados y capacitados o se les proporciona ciertos conocimientos son capaces de entender la necesidad de actuar por el bien del ambiente, este aspecto coincide con lo planteado desde 1995 por Benegas y Marcén (1995), de que la educación ambiental al igual que la escuela juega un importante papel en el desarrollo de las actitudes hacia el entorno. Estos autores presentan los resultados obtenidos por distintas investigaciones que evalúan la eficacia de diferentes programas de educación ambiental.

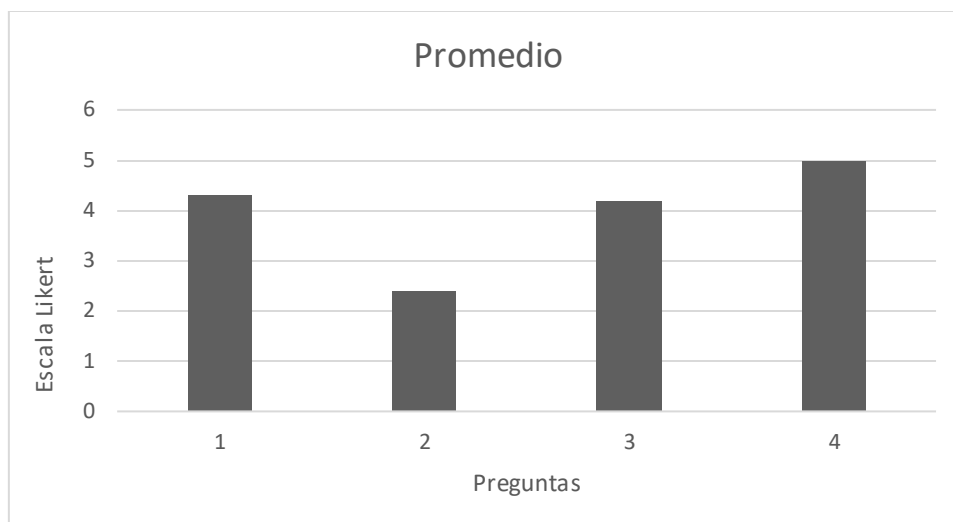


Figura 13. *Promedios generales de los elementos evaluados*

En la figura 14. Se muestran los promedios por participantes, se muestra que la mitad de los participantes (6) tuvieron un promedio por encima de cuatro lo que quiere decir que seis tienen conocimientos y disposición para aceptar y participar en el tratamiento de las aguas residuales, lo que representa el 50% de los participantes en las entrevistas. En estudios realizados en Tijuana sobre sistemas de tratamientos de agua Soto-Aguilar (2012) al preguntar a los participantes en las encuestas se encontró que más del 60% de los encuestados conocen sobre el concepto de aguas grises más del 80 % conocen sobre el reúso de aguas grises y más del 50 % conocen de los sistemas de tratamiento para este fin o tienen conocimientos sobre aguas residuales, aguas tratadas, y sistemas de tratamientos.

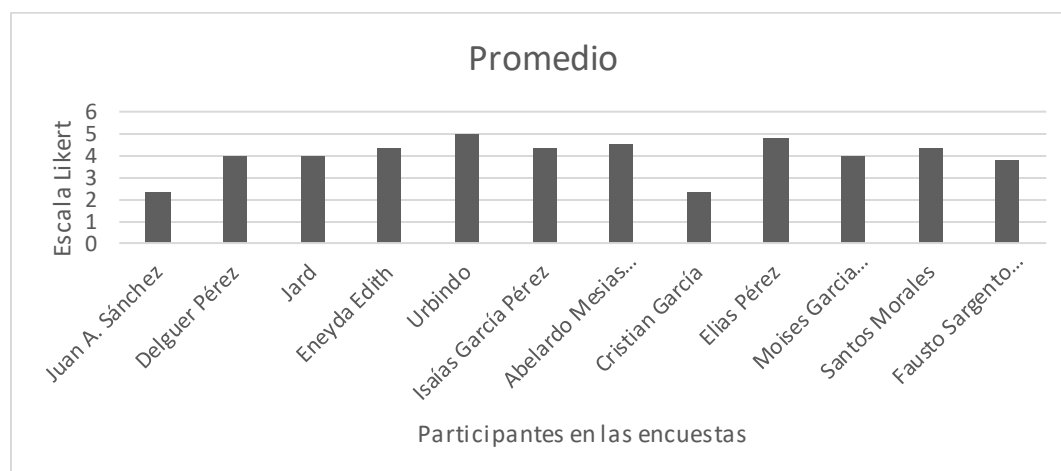


Figura 14. *Promedios generales por participantes*

El análisis por los elementos evaluados se comenzó por la importancia de los problemas ambientales (Figura 15). Se obtuvieron las respuestas a la pregunta de: ¿consideran importantes los

problemas ambientales?, lo que es significativo para entender el conocimiento que tienen sobre los problemas del medio ambiente en el ejido Loma Bonita.

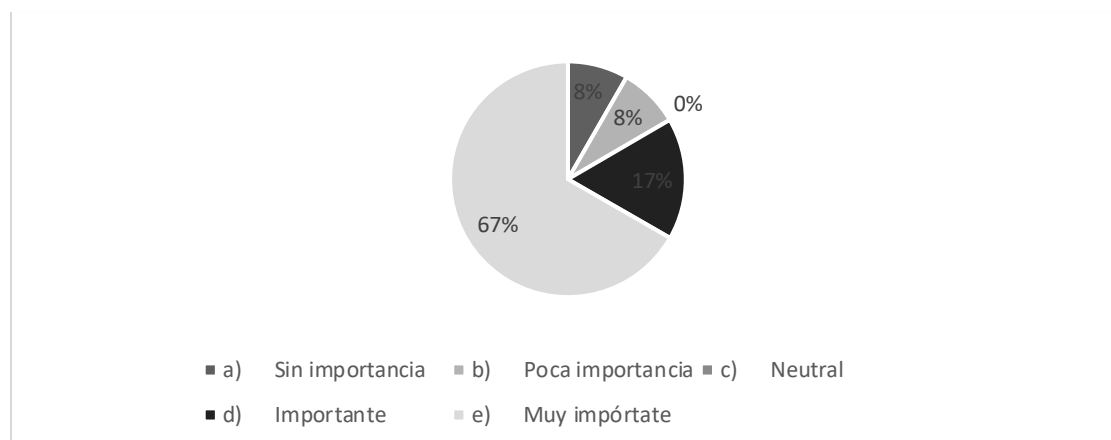


Figura 15. *Importancia de los problemas ambientales del ejido Loma Bonita*

En los resultados obtenidos se observa que el 8% de los entrevistados consideran sin importancia los problemas ambientales o de poca importancia, el 16.7% comentaron que los problemas ambientales del ejido Loma Bonita son importantes y el 66.7% consideró muy importante los problemas ambientales. Aunque no hayan escuchado con frecuencia sobre problemas ambientales los habitantes reconocen que son importantes, Gómez- Murillo (2012) plantea que un creciente número de personas saben sobre el cambio climático y que es necesario adoptar medidas, sin embargo, aún son muy pocos los que lo consideran una prioridad y plantea, también, que son demasiados los que no actúan cuando se presenta una oportunidad por lo que este autor considera que es un desafío modificar ese comportamientos, lo que se pudiera lograr si se introducen cambios en las políticas públicas ya sean locales, regionales, nacionales e internacionales para facilitar y hacer más atractiva la acción de los ciudadanos en la solución de los problemas ambientales.

En la Figura 16. Se muestra la frecuencia con la que los habitantes han escuchado hablar de problemas ambientales. Los resultados muestran que el 25 % comentan que nunca han escuchado hablar de problemas ambientales, el 50 % plantean que casi nunca han escuchado hablar de los problemas ambientales y el 8 % plantean que ocasionalmente han escuchado hablar y solo el 16.7 % comentan que muy frecuentemente han escuchado hablar de los problemas ambientales.

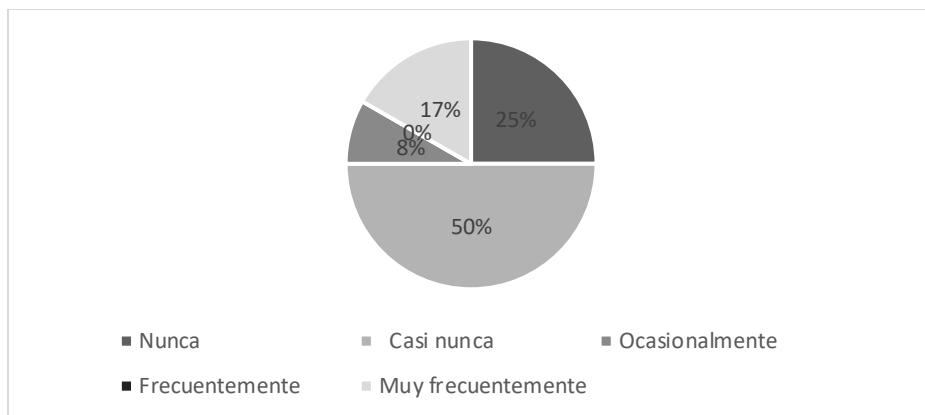


Figura 16. *Frecuencia con la que han escuchado hablar de los problemas ambientales*

En la Figura 17. Se muestran los resultados del análisis de si a los habitantes del ejido Loma Bonita les gustaría participar en la construcción de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de su hogar antes de que sean vertidas al río. Se observa que el 66 % están totalmente de acuerdo, el 17% de acuerdo y el 17% totalmente en desacuerdo. Se observa que a pesar de la percepción social sobre los problemas ambientales, hasta ahora descrita, se observa que entre los que están totalmente de acuerdo y los que están de acuerdo representan el 83% de los habitantes, que si les interesa tratar las aguas residuales de sus casas, al parecer este comportamiento se debe a un cambio de la actitud de las personas debido a la presencia de estudiantes universitarios en el ejido Loma Bonita y al desarrollo del diseño y construcción del sistema de tratamiento de aguas grises de una casa, parece ser, que en cierto modo estos hechos han sido una lección de educación ambiental que ha modificado la forma de pensar de los habitantes y percibir que realizar algunas acciones para resolver el problema de las aguas grises puede beneficiar a todos.

Estos resultados coinciden con lo planteado por Benegas y Marcén (1995) de que la educación ambiental tiene efectos en el cambio de actitud de las personas hacia sus entornos. También se coincide con lo planteado por Corraliza *et al.* (2005) de que las actitudes de las personas están formadas por las informaciones que poseen y los juicios y creencias que adecuan su conducta a un fin deseado, por lo que se puede plantear que las actitudes ante los problemas ambientales mostradas en esta disposición de los habitantes del ejido Loma Bonita a participar en el tratamiento de aguas residuales de sus hogares, están basados, apoyados o se sustentadas en estos planteamientos.

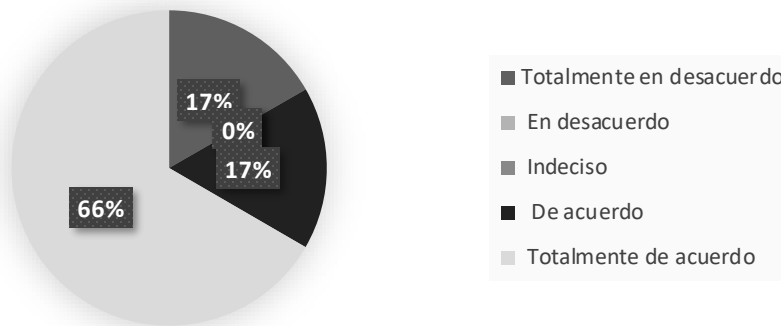


Figura. 17. *Habitantes del ejido Loma Bonita que les gustaría participar en el tratamiento de las aguas de su hogar*

En la Figura 18. Se muestra que el 100% de los entrevistados están totalmente de acuerdo en involucrarse en la experiencia del tratamiento de aguas residuales. Estos resultados difieren en ese aspecto a los resultados obtenidos por Portillo-Peralta *et al.* (2022), quienes encontraron que existen factores que limitan la apropiación de un humedal para el tratamiento de aguas residuales por parte de la comunidad de San José Pastorías, Veracruz, México., estos autores plantean que aun cuando contaron con dos grupos motores de jóvenes y mujeres no encontraron seguimiento al humedal sin el apoyo de la academia. Los resultados mostrados por el ejido Loma Bonita de que el 100% están totalmente de acuerdo en involucrarse en el tratamiento de las aguas grises se sustenta en lo planteado anteriormente de que la construcción de un sistema de humedal para el tratamiento de aguas grises en el ejido ha sido una estrategia de educación ambiental capaz de cambiar actitudes en sus habitantes

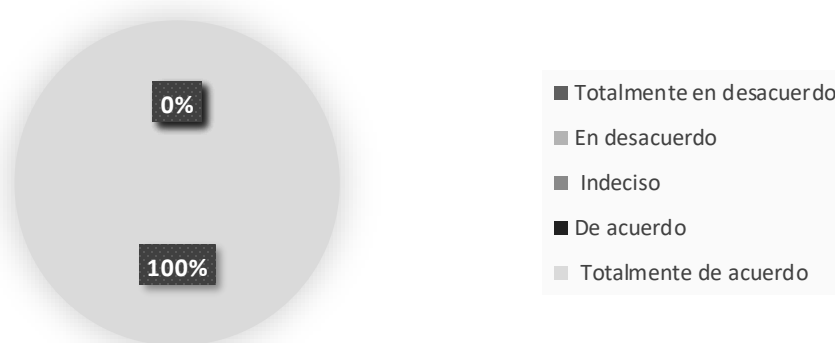


Figura 18. *Habitantes a favor de involucrarse en la experiencia del tratamiento de las aguas residuales*

En la tabla 7. Se muestran los resultados obtenidos en las preguntas abiertas. Se observa que en el tema de la importancia del tratamiento de aguas grises del ejido Loma Bonita se formaron cuatro grupos de respuestas.

Preguntas	Clúster	Numero encuestados
¿Es importante tratar las aguas residuales antes de verterlas al río?	Considera importante pero no responde por qué	2
	Evitar contaminación y limpiar el río	7
	Recuperar el agua contaminada	2
	No contaminar y prevenir enfermedades	1
¿Tienen otros problemas ambientales en la comunidad?	Usos de agroquímico	4
	Tala de arboles	1
	Mal manejo de la basura	5
	Contaminación de suelos	2
¿Conocen que estudiantes y académicos de la universidad están haciendo tratamiento de agua residual en la comunidad?	No conocen que se haya hecho tratamiento de agua residuales	11
	Si conoce que estudiantes han trabajado en el tratamiento de aguas residuales	1

Tabla 7. *Resultados de las respuestas a preguntas abiertas realizadas a los habitantes del ejido Loma Bonita*

El primer clúster estuvo formado por dos personas que respondieron que es importante el tratamiento de las aguas residuales, aunque no saben por qué. El segundo clúster se formó con la mayor cantidad de participantes, siete personas plantearon que es importante tratar las aguas antes de ser vertidas al río para evita la contaminación de este recurso. Dos personas opinaron que es importante para recuperar el agua contaminada y dos personas opinan que con el tratamiento del agua residual no se va a contaminar y se van a evitar enfermedades.

En el tema conocimiento e importancia de los problemas ambientales se formaron cuatro clústeres, en el primero cuatro personas plantean que otro de los problemas ambientales que les afecta es el uso de agroquímicos, una persona planteó que la tala de árboles es otro de los problemas ambientales del ejido Loma Bonita. El mal manejo de la basura es otro de los problemas identificados por cinco encuestados y la contaminación de suelos lo plantearon dos participantes.

En el tema de conocimiento y aceptación de la tecnología de tratamiento de aguas grises se formaron dos clústeres de respuestas a la pregunta si conocían que estudiantes y académicos de la

universidad estaban realizando tratamiento de aguas residuales en el ejido Loma Bonita, 11 personas respondieron que no conocen sobre eso y una persona respondió que si conoce.

Estos resultados están relacionados con lo que plantean Portillo-Peralta *et al.* (2022), que en muchas personas por varios factores no ocurre una apropiación social de tecnologías y soluciones que se llevan a cabo en sus comunidades.

VII. CONCLUSIONES

La planta Carrizo (*phragmites australis*) dentro del humedal, no realizó su función de remover los contaminantes de forma adecuada, ya que no eliminó los coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, lo que pudo deberse a que las raíces de las plantas utilizadas no desarrollaron sus raíces en su totalidad y no alcanzaron la profundidad adecuada.

En los parámetros físicos-químicos se obtuvo resultados adecuados de regulación del pH, la conductividad eléctrica, temperatura y el oxígeno disuelto dentro del humedal. Además, se observó un buen funcionamiento del humedal para retener los sólidos suspendidos, las grasas y la disminución de la turbidez de las aguas grises.

En el estudio de la percepción social se obtuvo que el 50% de los habitantes entrevistados tienen alto nivel de disposición para colaborar en la solución y conocimientos sobre los problemas ambientales.

En el ejido Loma Bonita no se habla con frecuencia de los problemas ambientales, sin embargo, el 100 % de los participantes están totalmente de acuerdo en que es muy importante que toda la comunidad se involucre en el tratamiento de las aguas grises. El 50 % tienen conocimientos y disposición para aceptar y participar en el tratamiento de las aguas residuales

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda la construcción de humedales en el resto de las viviendas, debido a que en el estudio de percepción social las personas aceptaron la tecnología del sistema de humedal con biofiltro para el tratamiento de las aguas grises lo que según los resultados de los análisis realizados en una excelente opción para que las aguas del río no sean contaminadas. Sin embargo, se recomienda el estudio de otras especies de plantas para su utilización como biofiltros que sean capaces de eliminar la *E. Coli*, debido a que la especie Carrizo (*phragmites australis*) no logró resultados positivos en su eliminación.

IX. AGRADECIMIENTOS

La autora de esta tesis agradece a los habitantes del ejido Loma Bonita por el apoyo brindado a la realización del trabajo y a la comisariada ejidal señora Enedina Hernández Pérez, quien muy amablemente dio acceso al ejido y a su domicilio para implementar la Enotecnia del sistema de humedal artificial con Biofiltro para el tratamiento de las aguas grises de su hogar. De la misma manera se agradece a la docente Paola Juan Villarreal por su asesoría y a los estudiantes Jorge Broca Bermúdez, Hubercleyn Camacho de Los Santos, Lucy Adriana Garnica Escobar, Ángel Gabriel Martín Iguila y Rosa Isela Arreola Cigarroa por su incondicional apoyo. También deja constancia de su agradecimiento a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Subsede Mapastepec, su casa Magna de estudios.

X. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, G.A.R. (2012) Experiencia en el Tratamiento de aguas residuales en el Estado de México. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Aznar-Crespo, (2019). Percepción social e implementación de la reutilización de aguas regeneradas por parte de comunidades de regantes. Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad Temática: gobernanza, derecho y políticas públicas. Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante. Consultado septiembre 2024. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88421/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_759-772.pdf
- Benegas, J., y Marcén, C. (1995). La Educación Ambiental como desencadenante del cambio de actitudes ambientales. Revista Complutense de Educación, 6, (2), 11-28p. Servicio de Publicaciones. Universidad Complutense. Madrid. Consultado septiembre 2024. Disponible en: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/127366/18500-18576-1-PB.pdf?sequence=1>
- Cabeza-Sánchez, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. Rev Peru Med Exp Salud Publica.35 (2):309-16. Consultada septiembre 2024. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/rpmesp/2018.v35n2/309-316/es>
- Canovas-Cuenca, J. (1986). Calidad Agronómica de las agua de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. Experiencias del Laboratorio Agrario de Diputación Foral de Gipuzkoa. Consultado julio 2024. Disponible en: [https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228975/recomencriteriosdeinterpretacionaguas.pdf/c52b6626-2092-ca14-e596-f189dd8eef9b#:~:text=La%20conductividad%20nos%20da%20una,cent%C3%ADmetro%20\(%C2%B5S%2Fcm\).](https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228975/recomencriteriosdeinterpretacionaguas.pdf/c52b6626-2092-ca14-e596-f189dd8eef9b#:~:text=La%20conductividad%20nos%20da%20una,cent%C3%ADmetro%20(%C2%B5S%2Fcm).)
- Castañeda, V.A. A., Flores, L.H.E. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. Revista de Tecnología y Sociedad, “innovación y difusión de la tecnología”. 3, (5).

Comisión Nacional del Agua. (2023). Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Subdirección Técnica y Subdirección de Construcción. Consultado 2 de noviembre 2024. Disponible en:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892836/SGAPDS-8-23-c.pdf>

Corraliza, J.A., Berenguer, J., Moreno, M., y Martín, R. (2005). La investigación de la conciencia ambiental. Un enfoque psicosocial. Persona, Sociedad y medio Ambiente, 105-120pp.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L.F., Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Serie Técnica. La publicación de este documento fue realizada con el apoyo financiero del Proyecto GOV-AGUA, Programa ALFA de la Unión Europea. Cochabamba – Bolivia. Consultado Agosto 2024. Disponible en:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39129699/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales-libre.pdf?1444675233

Delgadillo, O., Andrade, M., Camacho, A., Pérez, L., y Argote, R. (2008). Zonas húmedas construidas, una tecnología natural para la depuración de aguas residuales con fines de riego en municipios rurales y periurbanos. Ponencia presentada en la Reunión sudamericana para manejo y sustentabilidad de riego en regiones áridas, Salvador, Bahia Brasil, del 21 al 23 de octubre de 2008.

Delgado, H., y Pérez, W. (2010). Biofiltros domiciliarios. Filtros biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises. Proyecto CONICYT Nicaragua. Consultado junio 2024.

Disponible en: <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Biofiltros-Domiciliares.pdf>

Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A.R., Camacho-Calzada, K.E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera, 14 (1), pp. 78-97. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México.

- Eduardo, M. (2010). Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa. Consultado junio 2024. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30564/1/FernandezMayo.pdf>
- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín, C., y Villavicencio, F. (2014). El reuso del agua residual tratada en México. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos-Mexico, Pp 230-236.
- Fernández, J. (2004). Manual de fitodepuración, Ayuntamiento de Lorca, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- García, M., Bécares, E., y F. Soto, F. (2004). Are bacterial removal efficiencies enhanced by plants. An experimental study using *Scirpus lacustris*. En Memoria del Congreso de Ingeniería Ambiental, Avignon.
- Gómez, M. C. y Gómez, G. C. (2022). Percepciones sociales ambientales: estudio de la comunidad de Los Paños (Dpto. San Antonio, Jujuy, Argentina). Investigaciones, Ensayos y Experiencias, V (5), 190–200. Disponible en: <https://ies7-juj.infid.edu.ar/sitio/publicaciones/>
- Gómez- Murillo, L.P. (2012). Percepción social de los problemas ambientales en la comunidad del ITESM Campus Estado de México: Un diagnóstico para el diseño de los programas de sostenibilidad. Tesis para optar por el grado de Maestra en Ciencias en Desarrollo Sostenible. Tecnológico de Monterrey. México.
- Jones, E.R., Michelle, T.H., Manzoor, Q., y Marc, F.P. (2021). “Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse”. Earth System Science Data, 13, (2), 237 – 254 pp.
- Lara, B.J.A. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña -Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona.
- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., y Garcia, M.C. (2004) La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. Hig. Sanid. Ambient. 4: 72-82 pp. Consultado agosto 2024. Disponible en: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

- Marín-Muñiz, J. L. (2017). Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua. *Agro productividad*, 10 (5) 90- 95 pp.
- Moeller, G.; Rivas, A.; Escalante, V. y Pozo, F. (1997). Tecnología de punta para el reúso de aguas residuales en México. Informe final. Convenio SGP-IMTA, CNA-IMTA.
- Oswald, U. (2011). Retos de la investigación del agua en México. UNAM.CRIM. México.
- Pasek, E. (2004). Hacia una conciencia ambiental. *Educere, Artículos Arbitrados*, 34-40. Consultado octubre 2024. Disponible en:
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/19834/1/articulo5.pdf>
- Portillo-Peralta, J.I., Marín-Muñiz, J.L., Pérez, M.C., Zamora-Castro, S.A. (2022). Diagnóstico sobre el funcionamiento y la apropiación social de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en pastorías, Actopan, Veracruz, México. *Journal of Basic Sciences*, Vol. 8 (23), pp. 162-169. Disponible en:
<file:///C:/Users/isela/Downloads/Dialnet-DiagnosticoSobreElFuncionamientoYLaApropiacionSoci-9493690.pdf>
- Quiroz, S., Méndez, C., e Izquierdo, E. (2013). Tratamiento de aguas y aguas residuales. Consultado septiembre de 2024. Disponible en: <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aguas-residuales-definicion-pdfaguas-residuales/>
- Robledo-Zacarías, V.H., Velázquez- Machuca, M.A., Montañez- Soto, J.L., Pimentel-Equihua, J.L., Vallejo- Cardona, A.A., López- Calvillo, M.D., y Venegas- González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas industriales de Morelia, Michoacán, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 33 (2) 221- 235, DOI: 10.20937/RICA.2017.33.02.04
- Rodríguez, J.R. (2020). Evaluación de un biofiltro para la depuración de aguas residuales domésticas con fines de riego. *Agroecología Global Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar Año II. 2. (3): 32-43 pp.*
- Ronces- Robles, M.M. (2018). Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México. Tesina presentada para optar por el título de ingeniero químico. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química. Pp.

- Saldiña, O., Chiroles, S, Fernández, M., Hernández, y Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6: 202-206pp. Consultado Agosto 2024. Disponible en: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51015aa031684_Hig.Sanid_Ambient.6.202-206\(2006\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51015aa031684_Hig.Sanid_Ambient.6.202-206(2006).pdf)
- Silva, A.S., Zamora, H.D., (2005). Humedales artificiales. Trabajo de Grado Monografía. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura departamento de Ingeniería Química. Consultado agosto 2024. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2736/angelasofiasilvahernandari-ozamora.2005.pdf>
- Soto-Aguilar, W. (2012). Sistemas de tratamiento de aguas grises domésticas, como una alternativa para la seguridad hídrica de Tijuana. Tesis presentada para obtener el grado de Maestría en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la frontera Norte. Consultado septiembre de 2024. Disponible en: <https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1014/428/1/TESIS%20-%20Soto%20Aguilar%20Wendy.pdf>
- Stearman, G. (2003). Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells. *Journal of Environmental Quality*, (32), pp. 1548-1556.
- Telwesa (2023). _Clasificación de las aguas residuales según su origen. Consultado septiembre 2024. Disponible en: <https://telwesa.com/clasificacion-aguas-residuales-segun-origen/>
- UNESCO. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2011). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. Consultado julio 2024. Disponible en: <https://www.un.org/es/conferences/environment>
- UNESCO. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2003). World Water Assessment Programme, People and the Planet, en www.wateryear2003.org
- Vymazal, J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia* 674: 133-156.

XI. ANEXOS

1. Anexo 1. Imágenes del diseño y construcción del sistema de humedal con biofiltro



FUNCIONAMIENTO



ANÁLISIS





PRESENTACIÓN





11.2. Anexo 2. Encuestas para estudio de la percepción social

-
- **La importancia del tratamiento de aguas grises en la comunidad y su contaminación de fuentes de agua.**
 1. ¿Usted considera importante que haya un tratamiento de las aguas residuales antes de ser utilizadas o vertidas al río?
¿Por qué?
- **Conocimiento e importancia de los problemas ambientales.**
- 2. Considerando que las aguas residuales contaminan el río ¿que otros problemas ambientales tiene la comunidad?
 3. ¿Considera importante los problemas ambientales?
 - a) Sin importancia
 - b) Poca importancia
 - c) Neutral
 - d) Importante
 - e) Muy impórtate
 4. ¿Con qué frecuencia ha escuchado hablar de temas ambientales en su comunidad?
 - a) Nunca
 - b) Casi nunca
 - c) Ocasionalmente
 - d) Frecuentemente
 - e) Muy frecuentemente
- **Conocimiento y aceptación de la tecnología de tratamiento de aguas grises aplicada.**
 5. ¿Conoce sobre el tratamiento de aguas residuales realizado en su comunidad por los estudiantes de la UNICACH?
 6. Si conoce el tratamiento de aguas residuales realizado en su comunidad ¿Le gustaría participar y que las aguas residuales de su hogar sean tratadas antes de ser vertidas al río?
 - a) Totalmente en desacuerdo
 - b) En desacuerdo
 - c) Indeciso

- d) De acuerdo
 - e) Totalmente de acuerdo
7. ¿Considera importante que se involucre toda la comunidad en esa experiencia de tratamiento de aguas residuales?
- a) Totalmente en desacuerdo
 - b) En desacuerdo
 - c) Indeciso
 - d) De acuerdo
 - e) Totalmente de acuerdo