

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE  
CENTRO UNIVERSITARIO DE INCIDENCIA SOCIAL**

**Sustentabilidad y tecnología**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)  
PROGRAMA DE SUSTENTABILIDAD SOCIOAMBIENTAL PARA EL  
DESARROLLO INCLUSIVO**



**ITESO, Universidad  
Jesuita de Guadalajara**

**1P02 – SAN PEDRO VALENCIA: RENOVACIÓN URBANA, SANEAMIENTO  
AMBIENTAL Y EMPRENDIMIENTOS TURÍSTICOS  
Humedales para el tratamiento de aguas residuales y mitigación de la contaminación  
al agua**

**PRESENTAN**

Ingeniería Ambiental, Veyda Alcalá Camacho 721680  
Ingeniería en Biotecnología, Vanesa Alcalá Rodríguez 715896  
Ingeniería en Nanotecnología, Luis Guillermo Covarrubias Chi 709142  
Ingeniería Industrial, José Mateo Villicaña Valdés 714584  
Ingeniería Química, Ricardo Pérez Tostado 720843

**PROFESOR PAP: Héctor Morales Gil  
Tlaquepaque, Jalisco, Mayo de 2023**

# ÍNDICE

## Contenido

REPORTE PAP .....	3
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional .....	3
Resumen .....	5
Abstract.....	5
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto .....	6
1.2 Caracterización de la organización.....	7
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	8
1.4. Planeación de alternativa(s).....	10
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora .....	11
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos .....	13
1.7. Bibliografía y otros recursos .....	15
1.8. Anexos generales.....	17
2. Productos .....	18
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	19
3.1 Sensibilización ante las realidades .....	19
3.2 Aprendizajes logrados .....	20

## REPORTE PAP

### Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

*Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.*

*El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).*

*El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.*

*El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.*

*El Reporte PAP consta de tres componentes:*

*El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.*

*El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.*

*El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.*

## Resumen

La comunidad de Zacoalco de Torres presenta una problemática de contaminación por agua residual, la cual se mezcla con el agua que fluye de un arroyo que desemboca en la Laguna de Sayula ocasionando un impacto negativo en el sistema hidrológico y aquellos que se relacionan con él. El presente proyecto “Humedales para el tratamiento de aguas residuales y mitigación de la contaminación al agua”, busca solucionar esta problemática mediante la implementación de un sistema de tratamiento de agua residual alternativo por medio de un modelo de humedales artificiales. Se colaboró directamente con la administración de alcantarillado y agua potable del municipio, con quienes se presentó la propuesta y se atendió la solicitud de realizar estudios al agua residual con el fin de obtener de los parámetros necesarios para proceder con la elaboración de las estimaciones del diseño. Además, se realizó una profunda investigación para determinar el diseño óptimo para aplicar en el área en cuestión, que tomó en cuenta otras experiencias, información contenida en fuentes bibliográficas reconocidas y consultas con expertos en la materia.

Palabras clave: Tratamiento de agua residual, Humedales artificiales, Contaminación

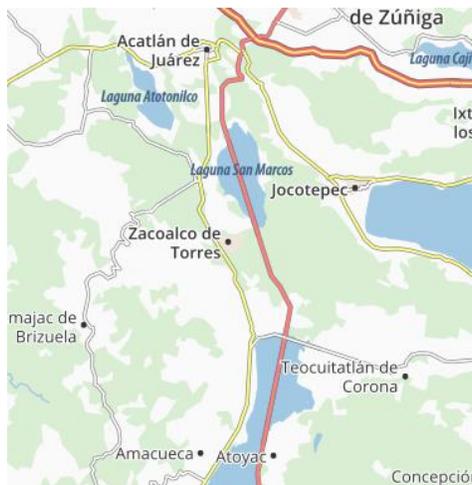
## Abstract

The community of Zacoalco de Torres has a wastewater contamination problem that mixes with the water flowing from a stream that flows into the Sayula Lagoon, causing a negative impact on the hydrological system and those related to it. This project seeks to solve this problem by implementing an alternative wastewater treatment system using an artificial wetlands model. We collaborated directly with the sewage and potable water administration of the municipality with whom we presented the proposal and attended the request to carry out wastewater studies in order to obtain the necessary parameters to proceed with the elaboration of the structure's estimates; however, the results of the analyses are still in the process of being delivered. In addition, a thorough investigation was carried out to determine the most optimal design to apply in the area in question, for this purpose, two wetland systems were visited and used as an example in the decisions of those mechanisms that would favor the community according to their geographical distribution.

Key words: Wastewater treatment, Artificial wetlands, Pollution.

## 1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

El proyecto se llevó a cabo en Zacoalco de Torres, el cuál es un municipio de la Región Lagunas del estado de Jalisco, con una población de 30,472 habitantes según el INEGI en 2020. Zacoalco se encuentra a una hora de viaje de la Zona Metropolitana de Guadalajara, por la carretera libre Guadalajara-Manzanillo. La venta de equipales es la fuente de trabajo y economía del municipio.



*Ilustración 1. Zona donde se encuentra Zacoalco de Torres*

Partiendo de lo que nos dice la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, todos tenemos derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma salubre aceptable y asequible y debe ser garantizado por el estado (Artículo 4to). A pesar de esto, México únicamente trata el 20% del agua residual que genera; además, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el 70% de los cuerpos de agua dulce en están contaminadas, de las cuales 31% se describen extremadamente contaminadas con metales pesados. Aunando a la situación alrededor de 13 millones de mexicanos reciben el servicio hídrico contaminado por falta de saneamiento, ocasionando así diversos problemas de salud. (Bravo, 2017)

Además, de acuerdo con la estadística, los sistemas de tratamiento de agua convencionales no han sido una solución viable, en el 2018 había 219 plantas de tratamiento de las cuales

únicamente 74 funcionaban correctamente. Esto da un panorama de los conflictos de interés político y económico que se viven día a día en el país. (El Informador, 2020)

Por otro lado, la situación actual de los sistemas de drenaje de las aguas residuales del municipio de Zacoalco muestra precisamente lo mismo que ocurre a nivel nacional, un deterioro que imposibilita el tratamiento del agua en el área. Tal es el caso que previamente colapsaron algunas líneas y se vertió el drenaje en terrenos donde existen casas habitadas, lo cual provoca un foco de infección, además de movilización y restauración de las líneas. Después de esto la planta de tratamiento existente, la cual jamás fue puesta a funcionar, fue lugar donde se depositó momentáneamente el agua residual, el cual únicamente quedó estancado ocasionando un foco de infección. Adicionalmente, el agua residual fluye hacia lo que es el área de la laguna seca, en la Laguna de San Marcos, lo que extiende la contaminación a otras regiones. Esto mismo fue parte de lo observado en las visitas al campo de trabajo, incluyendo también lo revisado en los documentos compartidos como la “Ficha técnica de hidrológica municipal” con información de la planta de tratamiento actual, o bien, notas informativas sobre las condiciones de las lagunas de oxidación e información relevante sobre problemas técnicos que tiene la distribución y saneamiento del municipio.

Entendemos la importancia de resolver estos conflictos debido a que no solo vulnera el derecho al agua de los habitantes al contaminar con las aguas residuales los cuerpos de agua de la zona, sino también el derecho a la salud de la población, siendo que el agua estancada representa un nido de fauna nociva como mosquitos portadores de enfermedades, como cultivo de bacterias infecciosas. Es por esto por lo que el equipo busca con este proyecto aportar una alternativa para tratar las aguas residuales en específico de la cabecera municipal de Zacoalco de Torres.

## 1.2 Caracterización de la organización

Este proyecto tiene como apoyo a la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del H. Ayuntamiento de Zacoalco de Torres. La principal función y objetivo de esta dirección es *“Administrar recursos al hacer más eficiente todas las etapas de la gestión del ciclo integral del agua, el cual está formado desde la atención al usuario para su alta al padrón de usuarios para generar contratos de suministro de agua, la gestión de medidores, medición de flujos o*

*tomas de lecturas ya sea manual o por terminales portátiles con lectura directa, por toque o radiofrecuencia, el análisis de lecturas antes de su facturación, la inspección a lecturas sospechosas, la facturación y recaudación permitiendo transparentar los ingresos por los servicios proporcionados a la ciudadanía. Además, se tiene un control de rezagos muy eficiente y funcional.”* (tomado de [http://www.aguasoluciones.com.mx/es/sistema\\_comercial\\_agua.html](http://www.aguasoluciones.com.mx/es/sistema_comercial_agua.html))

Básicamente es un área del gobierno municipal, y ve desde la parte teórica hasta la física en la cuestión del agua, por lo que se tiene un apoyo económico directamente del municipio para la planeación y elaboración del proyecto en cuestión: un humedal artificial con flujo subsuperficial.

### 1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

La problemática consiste en escoger el tratamiento a utilizar para las aguas residuales del municipio de Zacoalco de Torres. Anteriormente, el gobierno instaló una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) pero nunca se utilizó debido a que el flujo a tratar, aproximadamente 60 litros por segundo generado por poco más de 30,000 habitantes, era mayor que la capacidad de la planta, que se diseñó para tratar 40 litros por segundo.

Una PTAR realiza la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que pueda ser devuelta de forma segura a nuestro medio ambiente. Estas eliminan los sólidos, reducen la materia orgánica y los contaminantes y restauran el oxígeno para cuando el agua se regrese a los ríos o lagos tenga el suficiente oxígeno para soportar la vida.

Existen otros tipos de tratamientos de aguas residuales, como los humedales artificiales, estos son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las plantas hace posible una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva lentamente.

Existen dos tipos de humedales artificiales, los de flujo superficial y de flujo subsuperficial. Los sistemas de flujo superficial son aquellos donde el agua circula a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. En términos de paisaje, este tipo de

humedal es recomendable por su capacidad de albergar especies de animales, ya que es una modificación al sistema de lagunas convencionales. Los sistemas de flujo subsuperficial se caracterizan porque la circulación del agua se realiza a través de un medio granular subterráneo, con una profundidad de agua cercana a los 0.6 metros. Dentro de los humedales subsuperficiales hay dos tipos, los sistemas de flujo vertical y horizontal.

Los humedales de flujo horizontal consisten en una cama de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas. El agua ingresa de forma permanente y es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso, el diámetro de la grava de ingreso oscila entre 50 mm y 100mm, en cambio, la zona de plantación está constituida por grava fina de entre 3 mm y 32 mm. La profundidad del lecho varía entre 0.45 metros a 1 metro y tiene una pendiente de entre 0.5% y 1%.

Por otro lado, los humedales de flujo vertical son cargados intermitentemente, de esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por periodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Este tipo de humedal recibe las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tubería de aplicación de agua, y se recogen en una red de drenaje situada al fondo del humedal. En comparación con los de flujo horizontal, el sustrato en este tipo está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo. (Delgadillo. O. et al, 2010)

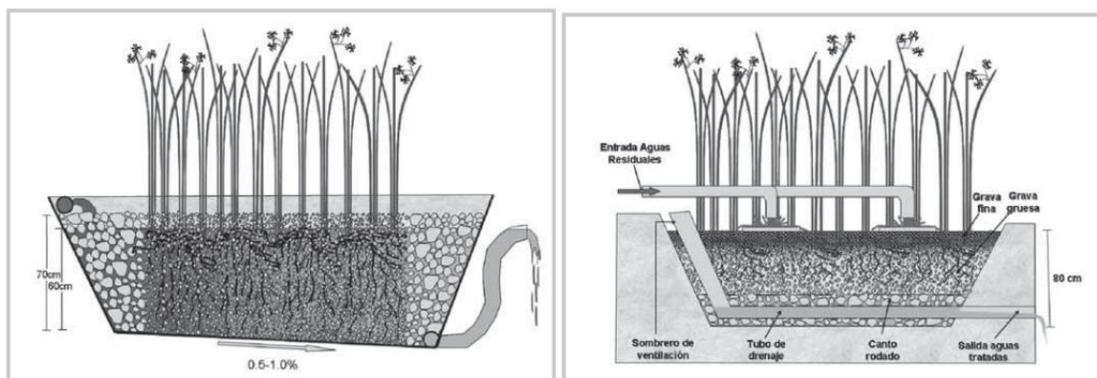


Figura 1. Humedal subsuperficial de flujo horizontal y vertical.

A diferencia de las PTAR que requieren entre 150 y 1400 kWh para tratar 1000 m<sup>3</sup> de aguas residuales, los humedales artificiales tienen un consumo energético nulo, debido a que el proceso de depuración lo realizan las plantas. Por otro lado, este tipo de sistemas tienen una excelente integración ambiental porque sustituye el uso de edificios y máquinas, por una plantación de macrófitas. Finalmente, reducen las averías al carecer de equipos mecánicos, y la operación es menos complicada, menos peligrosa y requiere menos medios para mantenerla en su punto óptimo. (Nuevo, D., 2021)

#### 1.4. Planeación de alternativa(s)

Los humedales construidos artificialmente son diseñados con el propósito de imitar los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los humedales que existen en la naturaleza, esto con la finalidad de darle un tratamiento a las aguas residuales. Como consecuencia, se pueden utilizar para el tratamiento de las aguas residuales municipales.

Se plantea la propuesta de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales, de manera que se pueda disminuir la contaminación que estas causan al medio ambiente y a los pobladores que radican en las cercanías de Zacoalco de Torres.

Asimismo, este tipo de sistema puede proporcionar sostenibilidad a largo plazo, ya que son operaciones que suponen un bajo costo, auto adaptativos y requieren poco mantenimiento. Como consecuencia representa una propuesta de gran interés por tratarse de una solución requerida por una organización como lo es la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del H. Ayuntamiento de Zacoalco de Torres, adelantando que, una vez realizada la inversión de dicho proyecto, este sería hasta cierto punto autosuficiente, disminuyendo la necesidad de cuidado y vigilancia del sistema.

Las aguas residuales municipales suelen contener distintos tipos de contaminantes como detergentes, grasas, aceites, entre otros, que son perjudiciales para el medio ambiente. Los humedales artificiales como propuesta de solución a la problemática, además de resolver el conflicto planteado, añaden valor estético y visual a los vecindarios en los que se establecen, creando incluso oportunidades recreativas con el ecosistema que se va integrando con el pasar del tiempo, como la aparición de aves y animales.

Cabe desatacar, que como beneficio a la comunidad los humedales diseñados correctamente ayudan a moderar la temperatura del ambiente, disminuyendo el calor concentrado en la zona geográfica. Adicional a ello, se estima que la adición de espacios naturales en cualquier comunidad tiene un efecto positivo en la salud humana, así como el incremento de respeto por la naturaleza, así como aporta a los atractivos turísticos mejorando la economía del municipio (Herrera et al., 2018; AMSCALL, 2023).

Uno de los lugares que resulta potencialmente de interés para el establecimiento del humedal es la laguna seca del municipio, ya que es en aquel mismo lugar en donde actualmente se vierten las aguas residuales. Dicho terreno tiene una amplia extensión y se presume que se encuentra geográficamente nivelado por lo que resultaría benéfico para el diseño y la construcción de este.

### 1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Para diseñar un humedal artificial que responda a las necesidades de la cabecera municipal de Zacoalco de Torres es necesario saber sobre los caudales de agua residual que son generados diariamente en la población, conocer su composición y concentración de cada contaminante, saber el número de habitantes y una proyección a futuro sobre el crecimiento del mismo, el tipo de suelo en donde se desea instalar, así como las inclinaciones que tenga, tipo de clima de zona, fauna y flora que habita, entre otro datos.

Durante el periodo de ejecución del proyecto obtuvimos información acerca del número de habitantes y se realizó una proyección de crecimiento a futuro. Asimismo, recibimos datos acerca de una caracterización del agua, de manera que ya se conocen los contaminantes que tiene y en qué concentraciones, sin embargo, estos últimos datos fueron entregados a finales del proyecto, por lo que no fue posible presentar un diseño específico del humedal, a consecuencia presentamos aquí los elementos generales del proyecto.

El proyecto de un humedal no sólo conlleva el diseño de la etapa fitorremediadora, sino que también son necesarias una serie de operaciones para mejorar la calidad del agua residual con la finalidad de no saturar el sistema de las plantas, por lo que se requiere un pretratamiento.

Primeramente, es necesaria la colocación de una trampa de grasas que tenga la capacidad de retener las grasas contenidas en el agua contaminada. Por su parte, es elemental la colocación de algunas rejillas en el cárcamo dónde será la primera operación de tratamiento del agua, ahí se llevará a cabo la remoción de los contaminantes de basura de tamaño grande, todos aquellos residuos que no deberían encontrarse circulando en el agua residual.

Como segunda etapa del pretratamiento del agua, se recomienda el uso de al menos dos sedimentadores de lodos, esto con la finalidad de removerlos y también parte de la materia orgánica que se encuentra en el agua. La recomendación de que sean dos unidades de operación con el mismo funcionamiento es debido a que se encontró que es importante estar removiendo los lodos cada determinado tiempo, y como no es práctico estar deteniendo el flujo de agua para removerlos, se recomienda usar alternadamente estas dos unidades para que el flujo pueda ser continuo.

Después, estos lodos podrían ser utilizados como abono una vez que se haya determinado que no se encuentran patógenos peligrosos en ellos.

La tercera operación para el pretratamiento sería la adaptación de un clarificador, en donde se removerían las partículas de sólidos que no sedimentaron en la etapa anterior y que siguen estando presentes en el agua.

Como cuarta etapa de proceso, se dirigiría el flujo de agua del clarificador hacia la fitorremediadora, en este caso el humedal artificial. A partir de la información encontrada acerca de los diferentes tipos de humedales artificiales existe una gran cantidad de decisiones a tomar y analizar para su diseño.

De acuerdo con el tipo de hidrología, se optó por un humedal de flujo subsuperficial, esto para evitar que el agua residual que se encuentra contaminada tenga contacto con el ambiente y de esta forma sea un lugar seguro para la población, sin propagación de bacterias y/o infecciones.

Además, de acuerdo con la trayectoria del flujo, se propone que sea de flujo horizontal, con la misma finalidad de que el tipo de hidrología sea de flujo subsuperficial, para reducir la probabilidad de que las bacterias que aún se puedan encontrar en el agua se propaguen por

todo el sistema y pueda producir alguna enfermedad en los pobladores, asimismo, se plantea que, con esta trayectoria de flujo, se disminuya la pérdida de agua por evaporación.

De la misma forma, existen diferentes tipos de humedales dependiendo el tipo de crecimiento de las plantas, es decir, si serán emergentes, sumergidas o incluso flotantes. Para definir el tipo de crecimiento que tendrán las plantas es necesario realizar un exhaustivo análisis con respecto a la caracterización de las aguas residuales, para determinar qué tipos de contaminantes y en que concentraciones se encuentran presentes en el agua a tratar. Se pretende encontrar un tipo de planta ideal que realice la función de fitorremediación con eficiencia, removiendo en la mayor medida de los posible los elementos que se encuentran presentes en el agua y que la contaminan.

Finalmente, dependiendo de la caracterización del efluente del humedal, se determinaría si el agua tratada necesita otro paso de remediación como podría ser el uso de agentes clorados o cámaras de rayos UV para mejorar la calidad del agua tratado, esto dependerá del tipo de uso que se le dará al agua ya tratada.

A lo largo de este proyecto no fue posible concretar este diseño, sin embargo, en periodos subsecuentes se contará con toda la información necesaria para presentar el diseño específico del humedal.

### 1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Después del análisis de la situación, la investigación y recopilación de información técnica respecto a los humedales, se pueden englobar las ventajas y desventajas en la siguiente tabla:

Ventajas	Desventajas
Proporcionan tratamiento de forma adecuada, según los intereses y uso posterior que se está buscando en este caso.	Pueden llegar a acumular algunos metales pesados entre el sistema de filtración si hay cantidades elevadas en el agua.
Tienen vida útil de varias décadas.	El rendimiento puede verse afectado en climas fríos.

No requieren grandes gastos energéticos.	Pueden llegar a necesitar de terrenos grandes o extensos, según la demanda.
Son menos costosos de operar y mantener.	Algún encharcamiento puede generar un nido de insectos y mosquitos.
Los lodos generados no requieren un tratamiento posterior, más que el secado.	No procesan algunas sustancias que pudieran existir en el agua, como grasas y sangre de rastros.
No requieren maquinaria en operación para funcionar.	

*Tabla 1. Ventajas y desventajas de los humedales*

Planteadas las ventajas y desventajas, se considera que la construcción de un humedal en Zacoalco de Torres sí es viable, debido a que esta alternativa tecnológica a las PTAR tradicionales resulta ideal para el tratamiento de las aguas residuales de la cabecera municipal, en tanto que puede tratar con el flujo generado por la población y resulta en un gran ahorro a largo plazo en fondos monetarios, siendo una inversión a largo plazo. Asimismo, la temperatura promedio anual es de 22.7°C, lo cual resulta idóneo para los procesos biológicos que se requieren, además de que se cuenta con el apoyo del gobierno para destinar un terreno lo suficientemente grande, o varios de menor tamaño con opción a seccionarlo, para su construcción.

Hay que tomar en cuenta que la construcción del humedal tendría que ser parte de una solución integral, aunado a otras propuestas y mejoras en el cuidado del agua del municipio, esto con el fin de poder sacar al máximo la eficiencia y garantizar el buen funcionamiento del humedal, esto debido a que se han identificado algunas situaciones que podrían afectar enormemente el funcionamiento de este.

Tal es el caso de la presencia de sangre por parte del rastro en un punto en el tramo del flujo de las aguas residuales. Anteriormente se ha detectado el problema en el cual el rastro posee deficiencias en la gestión de sus residuos, provocando que gran cantidad de sangre, vísceras

y grasas sean vertidas en el terreno a espaldas de este, donde atraviesa el arroyo, provocando un punto de contaminación y diseminación de estos desechos. La presencia de sangre y grasas presenta un problema para el tratamiento de las aguas residuales, provocando deficiencias e incluso impidiendo el tratamiento de estas. Anteriormente, se había presentado la propuesta para la construcción de un biodigestor el cual tratara este tipo de desechos. Si bien la propuesta del biodigestor es la óptima y deseable, algo se tiene que hacer o proponer para evitar que estos residuos contaminen e impidan el funcionamiento y fin último del humedal (Covarrubias et al., 2022).

Otro punto por tratar es la presencia de altas cantidades de grasas en las aguas residuales, esto debido a que varias empresas y restaurantes vierten en el drenaje todo tipo de desechos producidos en sus operaciones. Esto intervendría con el funcionamiento óptimo de un humedal. Esto se prevé solucionar con la concientización del problema con los dueños de los establecimientos y al adquirir trampas de grasas, que una vez instaladas, las atrapen antes de ser vertidas en el drenaje y puedan ser depositadas de forma correcta en el servicio de limpia pública, así como una trampa de grasas de mayor tamaño antes del ingreso del flujo al humedal.

### 1.7. Bibliografía y otros recursos

- Asociación mexicana de sistemas de captación de agua de lluvia AC. (2023). *Humedales artificiales para tratar el agua*. Recuperado 4 de enero de 2023, de <https://hidropluviales.com/2021/01/19/humedales-artificiales-para-tratar-el-agua/>
- Bravo, A. (2017, 20 julio). *70% del agua dulce en México está contaminada, y el Gobierno deja impunes a las industrias, alertan* – Agua.org.mx. Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/70-del-agua-dulce-en-mexico-esta-contaminada-gobierno-deja-impunes-a-las-industrias-alertan/>
- Covarrubias, L. G., Rodríguez, I. R., Hurtado, J. L., Salcido, A. L., & Aceves, N. (2022). *Diagnóstico y propuestas de mejoramiento del Rastro municipal, Zacoalco de Torres*. ITESO.
- De Anda, J., López-López, A., Villegas-García, E., & Valdivia-Aviña, K. (2018). *High-strength domestic wastewater treatment and reuse with onsite passive methods*. *Water*, 10(2), 99.

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Nelson Antequera Durán.
- El Informador. (2020, 5 octubre). *Aumentan las plantas de tratamiento sin funcionar*. *El Informador: Noticias de Jalisco, México, Deportes & Entretenimiento*. <https://www.informador.mx/jalisco/Aumentan-las-plantas-de-tratamiento-sin-funcionar-20201005-0012.html>
- EMerino-Solís, M. L., Villegas, E., De Anda, J., & López-López, A. (2015). *The effect of the hydraulic retention time on the performance of an ecological wastewater treatment system: an anaerobic filter with a constructed wetland*. *Water*, 7(3), 1149-1163.
- Espinosa Ortiz, C. E. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Granados, M., & Magaly, M. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en Toquilla*. Universidad Libre Facultad de ingenierías, 83.
- Herrera, M. A., Martínez, F. Z., Lara-Borrero, J. A., & Vidal, G. (2018). *Humedales de tratamiento: alternativas de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. Bogotá DC: Pontificia Universidad Javeriana.
- Nuevo, D., & Nuevo, D. (2021b). *Humedales artificiales en depuración de aguas residuales*. Formación de Ingenieros. Formación de Ingenieros. <https://www.tecpa.es/humedales-artificiales-en-depuracion-de-agua-residual/>
- PA, U. (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. Humedales de flujo subsuperficial.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Stefanakis, A., Akrotos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). *Vertical flow constructed wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment*. Newnes.

## 1.8. Anexos generales

### Anexo 1 - Diagrama de proceso para el desarrollo de la propuesta

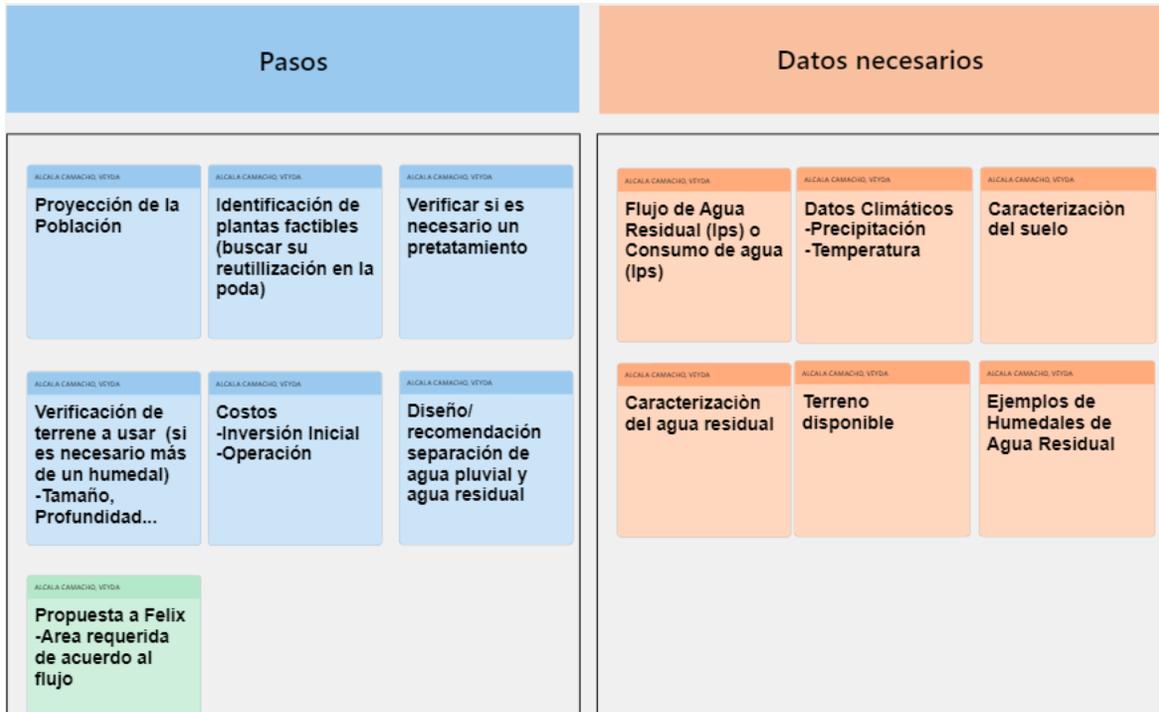


Figura 7.

## 2. Productos

El producto del proyecto es el resultado de la investigación que se presenta en el primer capítulo de este documento.

### 3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

Además de documentar la experiencia y dar cuenta de los productos y resultados a los que se llegó en el PAP, el RPAP también tiene como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

#### 3.1 Sensibilización ante las realidades

Durante la primera visita a Zacoalco de Torres a todos nos impactó mucho que había casas las cuales no estaban registradas ante el gobierno y viven en una situación bastante fuerte, pues justo en frente de sus hogares se encuentra agua residual estancada con olores muy fuertes. Fue algo que a todos nos sorprendió el hecho que en su vida diaria tienen que lidiar con este tipo de circunstancias y lo ven como algo normal.

Nuestra siguiente visita a Zacoalco convivimos un poco más con las personas que trabajan en la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado, ya que fuimos a exponer un poco de información sobre los tipos de humedales, ventajas, desventajas, precios, etcétera, aquí tuvimos la oportunidad de platicar un poco con unas señoras que venían en representación de la pastoral, ya que aquí en Zacoalco el pueblo y la iglesia van muy de la mano en todo, y el hecho que se hayan dado el tiempo de ir a escucharnos y decirnos todas sus dudas y ver el apoyo que tenían hacia el proyecto fue algo muy motivador.

En nuestra última visita aquí fuimos por el festival del día del agua como invitados de Félix y fue algo muy sorprendente que cuando llegamos y vimos toda la gente que estaba en la marcha y apoyando la causa. Fue una marcha como de unas 6 cuadras hacia la plaza central, en la que íbamos con música y en la parte de atrás un grupo de mujeres haciendo un baile típico con mucho entusiasmo, mientras avanzábamos la gente salía de sus casas a pasar un buen rato apoyando la causa y apreciando el espectáculo que estaban dando las personas de aquí mismo, fue una gran experiencia estar ahí y poder presenciar el entusiasmo de la gente hacia algo tan crucial como el cuidado del agua y ver los bailes típicos que estaban haciendo. Nos platicó Félix que en esta ocasión fue mucho menor la gente que fue notificada del

festival, pues en años pasados era tanta gente que se salía de control, esto nos sorprendió a muchos de nosotros, ya que comparándolo con lo que estamos acostumbrados nunca pensamos que hubiera tanta unidad y apoyo de la gente de Zacoalco hacia este tipo de problemáticas que afectan mucho a todo el mundo.

### 3.2 Aprendizajes logrados

*Competencias disciplinares, sociales y universitarias logradas:*

Resolución de problemáticas, ya que se identificó con claridad la problemática a tratar, así como se formuló un plan de resolución que involucra el área de ingeniería aplicándola en conjunto con las ciencias de la vida y las nuevas tecnologías.

Diseño de ingeniería, se diseñó un bosquejo de lo que podría ser la base de una propuesta de humedal artificial de alto valor que implementa e integra soluciones relacionadas con la ingeniería tanto ambiental como biotecnológica.

Comunicación efectiva, ya que se comunicaron los hallazgos encontrados de manera oral y escrita a lo largo del periodo del proyecto, se abrió un canal de diálogo reflexivo que involucró a cada uno de los integrantes del proyecto y los asesores responsables, concluyendo con ideas integradoras para la mejora de la propuesta de solución.

Responsabilidades éticas, se reflexionó la importancia de un proyecto como el del saneamiento del agua residual de Zacoalco de Torres, debido a que existe una responsabilidad social y ética de que todos los sectores económicos pertenecientes al pueblo tienen el mismo derecho a un bienestar social y de salud, concluyendo que actualmente existe una parte de la población que sufre en mayor medida las consecuencias del mal tratamiento del agua residual desembocando en enfermedades y disminución de su calidad de vida.

Trabajo en equipo, uno de los puntos más importantes ya que especialmente en este proyecto se logró la integración de los conocimientos profesionales de distintas carreras que componían este proyecto como lo fueron ingeniería ambiental, biotecnológica, industrial, química y nanotecnológica, donde cada uno de los estudiantes logró aportar una perspectiva diferente que fue enriquecedora para el proyecto y la propuesta de resolución.

Como un primer momento se identificó con claridad la problemática social y ambiental que presenta el municipio de Zacoalco de Torres, Jalisco, aprendiendo a desarrollar metodológicamente el proceso de acompañamiento a los pobladores, líderes y organizaciones involucradas en dicha problemática para el proceder de la resolución.

Comprendimos la importancia de jerarquizar las necesidades, por lo que se inició con una visita al pueblo para un prediagnóstico de la situación, luego fue la documentación de información relacionada al tema que sería de gran apoyo y terminando con las visitas a los humedales de CIATEJ y de Cihuatlán, Jalisco.

Finalmente, uno de los principales retos que enfrentamos fue que no se lograron obtener parámetros diagnósticos de los estudios realizados al agua residual de Zacoalco, de manera que se desconoce la composición de esta y fue causa de tiempo perdido para la realización de la propuesta de humedal artificial personalizada que lograra satisfacer las necesidades específicas que la situación demanda. Esto se solucionó documentándonos con información relacionada al tema e infiriendo ciertos aspectos con base en situaciones homólogas que pudimos investigar.