

**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 Química, Ricardo Pérez Tostado 720843  
Ingeniería Química, Julián Alonso López Beltrán 729454  
Ingeniería Química, Any Camila Arce Mendoza 715142  
Ingeniería en Biotecnología, Magdalena Lozoya García 722002  
Ingeniería en Biotecnología, Paul Aldana Cordero 721952

**PROFESOR PAP: Héctor Morales Gil**

## Índice

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 .....	17
1.7. Bibliografía y otros recursos.....	19
1.8. Anexos generales .....	20
2. Productos .....	26
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia .....	26
3.1 Sensibilización ante las realidades .....	26
3.2 Aprendizajes logrados.....	27

## 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

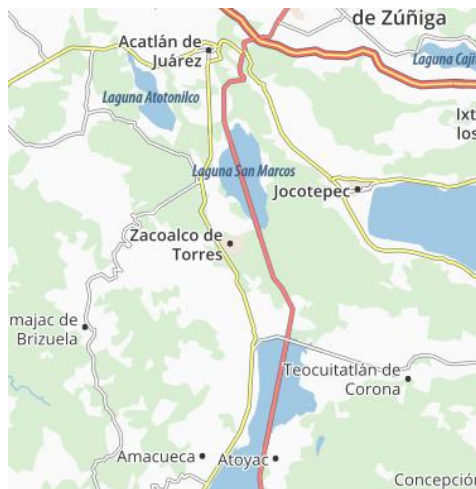
## Abstract

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)

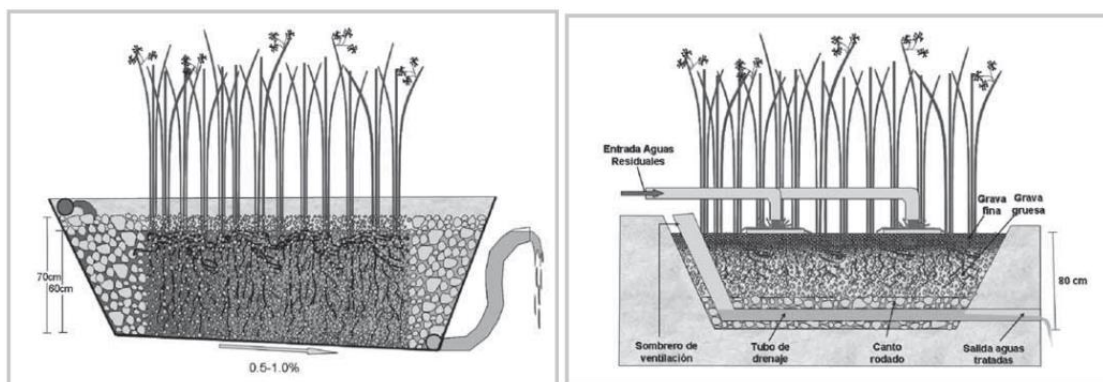


Figura 1. Humedal subsuperficial de flujo horizontal y vertical.

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).

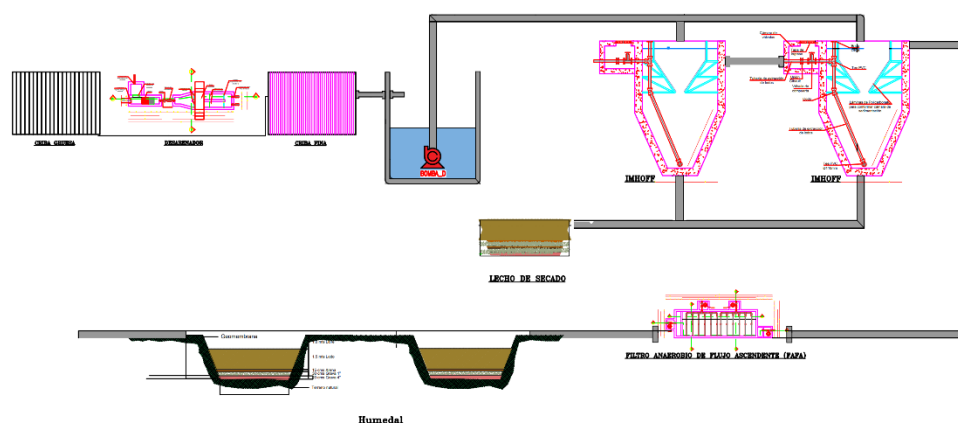
Uno de los lugares que resulta potencialmente de interés para el establecimiento del humedal es la laguna seca del municipio, ya que es en aquel mismo lugar en donde actualmente se vierten las aguas residuales. Dicho terreno tiene una amplia extensión y se presume que se encuentra geográficamente nivelado 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 otros datos. La proyección que se tiene para dentro de 25 años (2048) fue para una población de 28,100 habitantes.

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. Para esto, se compararon los datos obtenidos en el cárcamo municipal I (zona de La Cuchilla) donde se planea instalar la planta para el tratamiento, con los establecidos por la NOM-001-2021. Datos como: Grasas y aceites, DQO, Coli fecales, entre otros. Es en base a estos parámetros con los que se diseñó la planta de tratamiento para cumplir con los de la NOM.

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. Con la proyección de utilizar el terreno dónde se encuentra actualmente el cárcamo municipal I (3 hectáreas aproximadamente), se realizó el diseño total de la planta de tratamiento, incluyendo el pretratamiento y el humedal. A continuación, se presenta dicho diseño.



*Figura 2. Diseño de planta de tratamiento.*

Se evaluó inicialmente añadir una trampa de grasas, pero se vio más necesario implementarlas ente los negocios de mayor generación de dichas grasas. Para esto se considera un apoyo por parte del ayuntamiento para evaluar los negocios y localidades para implementar el uso de trampas de grasas, y así tener una mejor calidad al agua que llegará a la planta de tratamiento.

Para el pretratamiento, se incluyen los siguientes equipos: Cribado grueso, desarenador, cribado fino, tanque Imhoff, lechos de secado, FAFA y el humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Inicialmente, se tiene como primer equipo en el pretratamiento al cribado grueso. Este es un equipo mecánico el cuál consta como primer filtro para la separación de sólidos de gran tamaño de la solución acuosa inicial. Está compuesto por barras metálicas, con un espesor de 30 mm por cada barra. En total el sistema constaría de 25 barras para la separación de sólidos,

y una altura de 0.7 m y un ancho de 0.9 m totales. Su mantenimiento sería manual, y se tendría un equipo de reserva en caso de obstrucción de alguna de ellas.



*Figura 3. Cribado Grueso.*

Una vez realizado el primer filtrado, el caudal es sometido a un espacio que permite la precipitación de arenas para mantener al sistema libre de este tipo de sólidos. Éste estará conformado por dos desarenadores en paralelo de 26 m de largo y 0.9 m de ancho cada uno, llegando finalmente a un primer cárcamo donde se ubicarían un par de bombas que mandarían el agua a un segundo filtro.

El segundo filtro consiste en el cribado fino que se conforma de dos cribas finas tipo resbaladilla de 2mm de espesor las cuales dirigirían el agua a los Tanques Imhoff.

Los Tanques Imhoff pertenecen a un tratamiento primario diseñado para la separación de los sólidos y la digestión de los lodos sedimentados. Para el sistema se utilizarán dos tanques con dimensiones de 10.5 m de ancho y 23.9 m de largo, con una profundidad de 12.3 m. Los lodos sedimentados en ese tratamiento se deberán extraer cada cierto tiempo enviándolos a la cámara de lechos de secado.

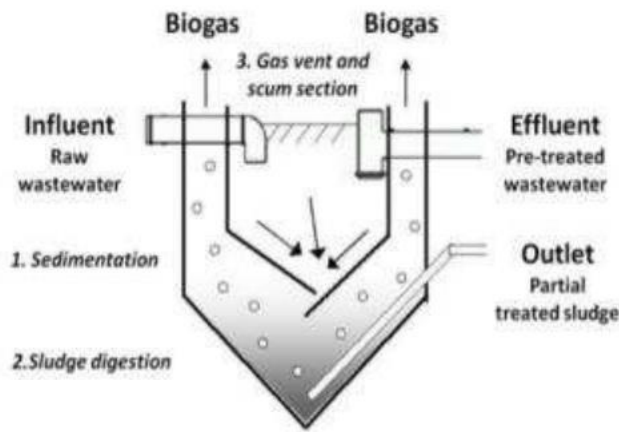


Figura #. Tanque Imhoff.

Las cámaras de lechos de secado son fosas con un lecho filtrante de arena y grava que permite filtrar el agua contenida en los lodos la cual es recogida por ductos que recirculan el agua al sistema, mientras que otra parte del agua contenida en los lodos se evapora. Para las cantidades de lodos generada, se requerirán 6 cámaras de lechos de secado con dimensiones de 10 m de largo y 10 m de ancho y una profundidad de 2 m cada uno. Estos se estarían alternando entre sí de acuerdo con el vaciado de los mismos lodos generados.

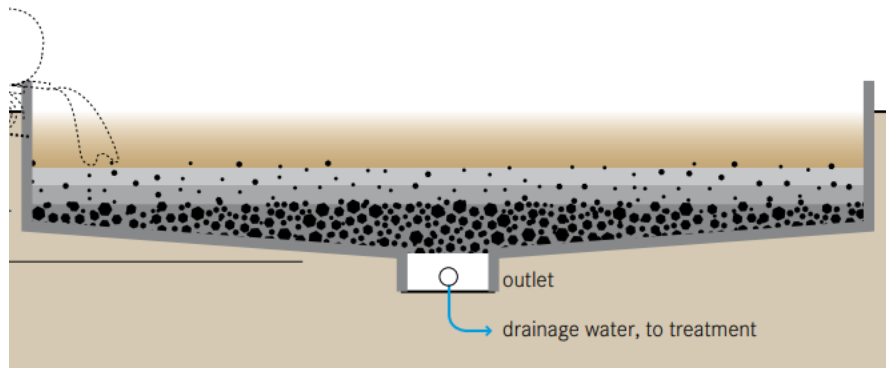
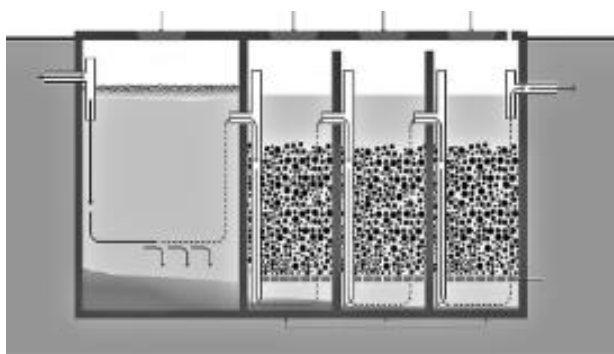


Figura #. Cámara de lechos de secado.

Posterior a los tanques Imhoff, se encuentra el sistema del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA). Su funcionamiento se basa en el flujo del agua por medio de distintos medios filtrantes (grava o piedra) distribuidos a lo largo del tanque, el agua fluye hacia arriba y los contaminantes orgánicos se van degradando por los microorganismos anaerobios presentes en el lecho de lodos. Mientras va pasando el agua, los gases producidos se acumulan en la

parte superior del tanque formando una manta de lodos flotante, esto retiene a los microorganismos en el sistema teniendo una gran eficiencia en la eliminación de contaminantes.

En el FAFA se calculó una eficiencia del 70% lo cual da una reducción del DBO hasta 38.45 mg/L. Se estimó el filtro de forma cuadrada, teniendo una altura de 2.8 m de altura, con un largo y ancho de 17.6 m. En este caso, se estimaron 2 filtros en operación constante, este es el último paso del pretratamiento para llevar el agua a los humedales con un DBO bastante bajo.



*Figura #. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) cuadrado.*

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.

El diseño del humedal se realizó siguiendo el proceso de EPA, 1988. Se tomo en cuenta una altura de 0.6 m para el humedal, el tamaño promedio, y se diseñó para lograr un disminuir la

DBO hasta 28.85 mg/l. Para comenzar, se obtuvo el área superficial, con un valor de 9,763.97 m<sup>2</sup>.

Posteriormente, se calculó la velocidad del fluido en el medio poroso aplicando la Ley de Darcy. En este caso se optó por arena gruesa como sustrato, para toda la parte media del humedal, con un tamaño de grano de 2 mm y una porosidad de 0.39 m/día. La velocidad del fluido obtenida fue de 36.87 m/día.

Finalmente, se calcularon el ancho, 62 m, y el largo del humedal, 159 m, que nos funcionaron para terminar de dimensionar el tratamiento principal. Se decidió fraccionar el humedal en 6 secciones de 31 m por 53 m, teniendo como resultado dos humedales en paralelo cada uno de ellos con 3 en serie. Se calculó el tiempo de residencia del fluido en esta parte del proceso, obteniendo un valor de medio día para el tratamiento del agua residual dentro de la planta fitodepuradora. (USEPA, 1988)

Finalmente, el agua tratada y en la salida del humedal pasa por un proceso de desinfección con el objetivo de eliminar o inactivar los microorganismos aún presentes en el agua residual. Sin este procedimiento al ser expuestas al ambiente, pueden generar enfermedades debido a que incluyen bacterias, virus o protozoos. El método utilizado es la cloración, en este caso hipoclorito de sodio al 13%, se añade un pico de 15 mg/L para evitar la generación de subproductos tóxicos y dañinos para el medio ambiente. Se requiere de dos bombas dosificadoras de cloro en operación y una más en reserva en dado caso del algún fallo en el sistema.



*Figura #. Bomba dosificadora de cloro.*



## 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 tratará 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 interviene 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 limpieza pública.

Con lo obtenido de los cálculos del pretratamiento y el humedal para el funcionamiento correcto del PTAR, se encontró viable esta alternativa. Esto se fundamenta en alcanzar los parámetros planteados por la NOM-001-2021 con lo que se llegaría en el agua al final del

humedal, además de brindar una reutilización de esta agua en el riego. Se debe de trabajar en conjunto con el Ayuntamiento y la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Zacoalco de Torres, esto para encontrar los recursos y financiamiento para llevar a cabo el proyecto como ya se estableció en la junta de presentación del proyecto.

### 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/>
- CONAGUA. (2015). Sistema de Gestión de Aguas Pluviales y de Drenaje Sostenible (SGAPDS) [Libro en formato PDF]. Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro27.pdf>
- 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.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1988) *Design Manual, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*.

## 1.8. Anexos generales

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

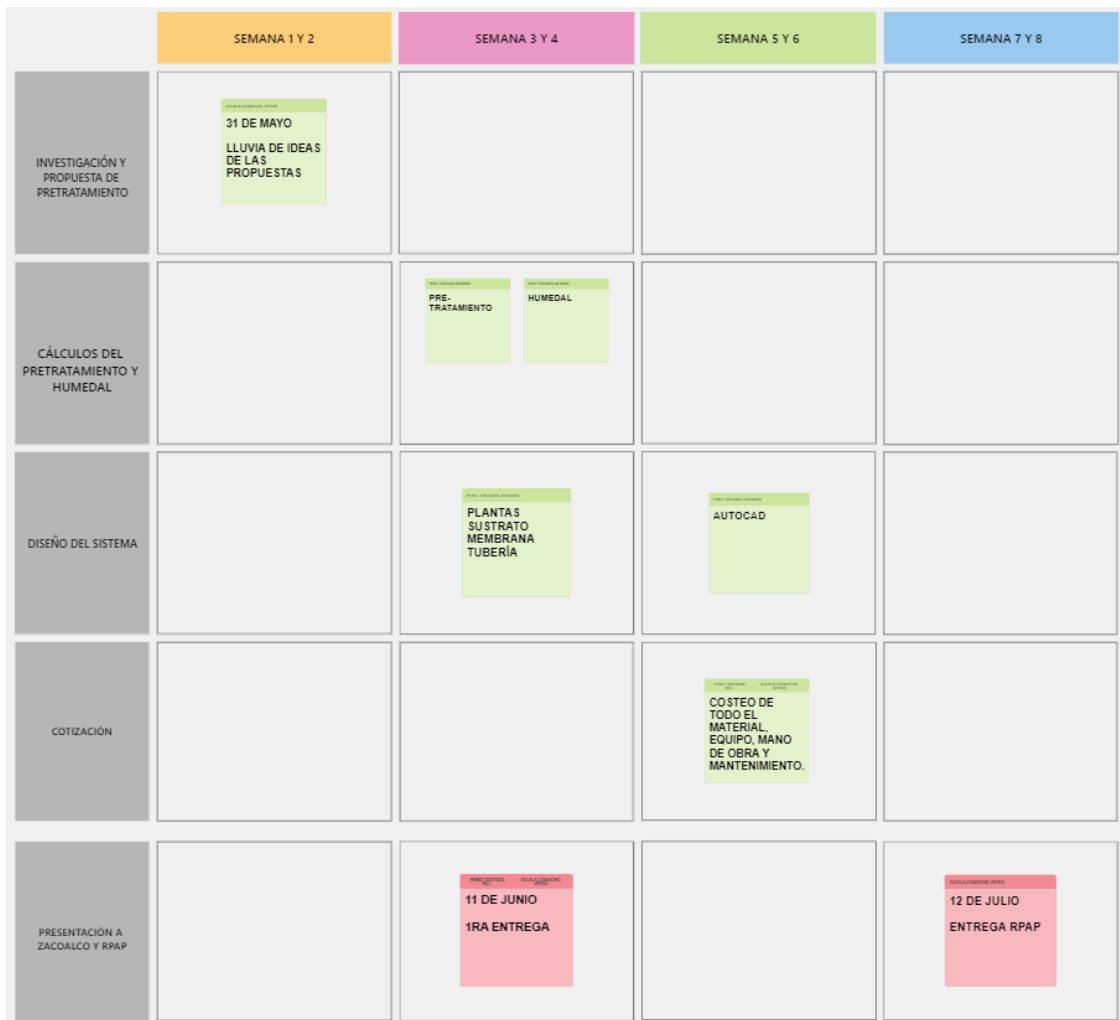


Figura 7. Diagrama de proceso de la propuesta a desarrollar

Grasas y aceites	52.4 mg/l
SST	145 mg/l
DQO	359 mg/l

N total	47 mg/l
P total	0 mg/l
Coli fecal	2400 NMP/100 ml
Cobre	0.0466 mg/l
Zinc	0.103 mg/l

Tabla 1. Parámetros medidos de Zacoalco

Grasas y aceites	18 mg/l
SST	36 mg/l
DQO	72 mg/l
N total	NA
P total	NA
Coli fecal	(1000-2000) NMP/100 ml *
Cobre	5 mg/l
Zinc	15 mg/l

Tabla 2. Parámetros establecidos por la NOM001-2021/1996

Nota: (\*) Solo aplicable para NOM001-1996

<b>No. cribas</b>	
- operación	1
- reserva	1
- total	2

Dimensiones	Unidades	
<b>Ancho de la criba (W)</b>	m	0.9
<b>Altura útil de la criba</b>	m	0.4
<b>Inclinación (pendiente)</b>	°	45
<b>Bordo libre (B)</b>	m	0.3
<b>Altura total del canal</b>	m	0.7

Tabla 3. Dimensiones Cribado grueso.

<b>DESARENADOR</b>		
No. desarenadores		
- operación		1
- reserva		1
- total		2
Dimensiones del canal desarenador		
	Unidades	
Ancho (W)	m	0.9
Longitud total (L)	m	26
Altura útil (h)	m	0.5
Bordo libre (B)	m	0.2
Altura total (htotal)	m	0.7
Dimensiones del vertedor proporcional		
Profundidad para arenas (arenas)	m	0.1
Ancho de la base (b)	m	1.36
Altura recta (a)	m	0.01
Ancho mínimo vertedor (x)	m	0.137472

Tabla 4. Dimensiones Desarenador.

<b>BOMBA CÁRCAMO - IMHOFF</b>		
N. unidades		
- operación		1
- reserva		1
	Unidades	
Caudal por bomba	l/s	143.40
Carga dinámica total	m	11.16
Eficiencia de la bomba		0.6

Potencia del motor	kW	11.19
	hp	15

Tabla 5. Datos Bomba Cárcamo a Imhoff

<b>TANQUES IMHOFF</b>		
No. Tanques Imhoff		
- operación		2
Dimensiones del sedimentador	Unidades	
Ancho (W)	m	7.953784
Longitud total (L)	m	23.86135
Altura útil (h)	m	4.297764
Bordo libre (B)	m	0.6
Altura total (htotal)	m	4.897764
Dimensiones Digestor		
Ancho (w') (c/lado)	m	1
Longitud total (L)	m	23.86135
Ancho (w'') (c/pared)	m	0.25
Altura útil (h)	m	11.72517
Bordo libre (B)	m	0.6
Altura total (htotal)	m	12.32517
Dimensiones totales por cada tanque		
Ancho (W')	m	10.45378
Longitud total (L)	m	23.86135
Altura total (htotal)	m	12.32517
Área total	m <sup>2</sup>	249.4414
Área total por todos los tanques	m <sup>2</sup>	498.8828

Tabla 6. Dimensionamiento Tanques Imhoff

<b>BOMBAS TANQUE IMHOFF - LODOS</b>		
N. unidades		
- operación		2
- reserva		0
	Unidades	
Caudal por bomba	l/s	71.70
Carga dinámica total	m	32.28
Eficiencia de la bomba		0.6



Potencia del motor	kW	11.19
	hp	15

Tabla 6. Datos bombas Tanques Imhoff - Lodos

Resumen de FAFA		
<b>N. unidades</b>		
- operación		2
	Unidades	
<b>Caudal por tanque</b>	l/s	30.00
<b>Altura total filtro</b>	m	2.80
<b>Volumen por filtro</b>	m <sup>3</sup>	864.00
<b>Largo por filtro (cuadrado)</b>	m	17.57
<b>Ancho por filtro</b>	m	17.57
<b>Área superficial por filtro</b>	m <sup>2</sup>	308.57
<b>Eficiencia FAFA</b>	%	69.24

Tabla 7. Dimensiones Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) cuadrado.

Resumen del Humedal		
No. De Humedales		6
Área superficial total	m <sup>2</sup>	9,764.0
Área por humedal	m <sup>2</sup>	1,627.3
Longitud por humedal	m	53.0
Ancho por humedal	m	31.0
Remoción de DBO	%	25.0

Tabla 8. Dimensiones humedales subsuperficiales.

Dimensiones finales		
Ancho del canal (a)	m	1.20
Longitud del tanque (L <sub>tanque</sub> )	m	15.5
No. canales (n)		3
Ancho del tanque (a <sub>tanque</sub> )	m	3.4

Profundidad útil ( $h_{\text{útil}}$ )	m	1.5
Bordo libre (B)	m	0.3
Profundidad total ( $h_{\text{total}}$ )	m	1.8
Área superior ( $A_{\text{sup}}$ )	$m^2$	52.8

Tabla 9. Dimensiones tanque de desinfección.

## 2. Productos

El producto del proyecto es el resultado de la investigación que se presenta en el primer capítulo de este documento y el diseño desarrollado de la propuesta en la sección 1.5 del documento. Así como también la exposición del proyecto frente a la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Zacoalco de Torres y Ayuntamiento.

## 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, recabando datos sobre el cárcamo actual y sus dimensiones para evaluar si era posible el considerarse como parte del diseño final, algo que se seguirá evaluando con la ubicación final de la PTAR. También tuvimos visita hacia la

laguna y seca ubicaciones de canchas deportivas, proponiendo y motivando el proyecto para llegar a los parámetros que sea posible el riego sobre ellas y agrícolas.

Finalmente, al tener todos los cálculos de cada etapa del pretratamiento y la propuesta del humedal artificial, se presentó el proyecto frente a Ayuntamiento y la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Zacoalco de Torres. En esta presentación se aprendió más a fondo las preocupaciones por parte del pueblo, su descontento con los engaños que han tenido por parte de empresas, en particular con quienes se encargaron en el diseño y funcionamiento del actual cárcamo municipal. Dentro del diálogo, se dio a conocer la indiferencia por parte de gobierno y empresarios dueños de terrenos con la intención de fraccionar terrenos dónde la calidad de salud es ineficiente, con el muy posible desarrollo de enfermedades en dichas ubicaciones. Terminó con la consideración del proyecto para otra etapa más desarrollada en costos de construcción y operación, así como también financiamiento.

### 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 la propuesta de todo el proceso de pretratamiento y el humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales. Exponiéndolo con Dirección de Agua Potable y Alcantarillado, y demás gente relacionada en la toma de decisiones para la consideración de la propuesta.

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 y química. 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 continuó la problemática social y ambiental que presenta el municipio de Zacoalco de Torres, Jalisco, haciendo más directo el proceso de acompañamiento a los pobladores, líderes y organizaciones involucradas en dicha problemática para el proceder de la resolución.

Las visitas al pueblo fueron para recabar datos y comprender más a fondo las deficiencias de las alternativas actuales de PTAR. Con los resultados obtenidos anteriormente del análisis de agua en puntos estratégicos del poblado, se pudo continuar con la propuesta, cálculos y diseño del proceso del humedal.

Finalmente, se llevó a cabo la exposición frente a el Ayuntamiento y la la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Zacoalco de Torres con la propuesta más detallada. Esto para su consideración y confianza en el proyecto para su investigación continua en temas de financiamiento y construcción.