



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO
TEMAPACHE**

TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

“Diseño de prototipo de un humedal para la recuperación del arroyo en la localidad de Milcahuales Municipio de Álamo Temapache Ver ”

PARA OBTENER EL TITULO DE

Ingeniera en Ambiental

PRESENTA

Yeraldin Cruz Hernández

DIRECTORES DE TESIS

Óscar Eduardo Rivas Aguilar

Margarita Fuentes Olivares



Dedicatoria

A mi madre Violeta Hernández, que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre Ramiro Cruz, por nunca limitarme en mis sueños y por ser mi gran ejemplo a seguir en todo momento.

A mis hermanos, Yazmin y Elmer, porque son la razón de sentirme tan orgullosa de culminar mi meta, gracias a ellos por confiar siempre en mi.



Agradecimientos

A Dios nuestro pilar fundamental en nuestras vidas un especial agradecimiento por permitirme cumplir con paciencia, entendimiento y dedicación la meta de ser ingeniero, un propósito en el cual nos permite ser más para servir mejor.

Para poder realizar esta tesis la mejor manera posible fue necesario del apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer.

En primer lugar a mis padres, Ramiro y Violeta por siempre apoyarme y brindarme su confianza en todos estos años de estudio y formación.

A mis hermanos, Yazmin Y Elmer, por ayudarme y apoyarme sin condiciones.

Al maestro Óscar Eduardo Rivas Aguilar y a la maestra Margarita Fuentes por ser quien me guió y me acompañó en este proceso de construcción de tesis, así como por todos los buenos consejos y agradables momentos que compartimos juntos.

A Elvira Figón Cerecedo, por brindarme su confianza al darme la oportunidad de trabajar en éste proyecto que tenía en mente desde hace mucho tiempo y compartirme todo su conocimiento.



Resumen

El objetivo del presente estudio es el diseño de un humedal artificial mediante la caracterización de los residuos vertidos en una sección del arroyo Tántala, la cual pasa por la localidad de Milcahuales perteneciente al municipio de Álamo Temapache Veracruz. La finalidad del diseño del humedal es eliminar de manera significativa las impurezas de tipo biológico, químico y físico presentes en el agua, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua y preservación del ecosistema local.

El estudio consta de una revisión bibliográfica en cuanto a temas de humedales a nivel internacional como nacional, al mismo tiempo se realizó una recopilación de información del área de estudio mediante entrevistas con la población para la identificación de las fuentes de contaminación y recorridos de campo para observar las condiciones del arroyo, el cual los residuos que predominan son los orgánicos, inorgánico y de manejo especial. El estudio contribuye significativamente a mejorar la calidad de vida de la comunidad y a preservar el entorno ambiental a largo plazo.

Palabras Clave:

Humedal, Milcahuales, Humedal artificial, Remediación, calidad del agua, contaminación.



Abstract

The objective of this study is the design of an artificial wetland through the characterization of the waste dumped in a section of the Tantala stream, which passes through the town of Milcahuales belonging to the municipality of Alamo Temapache, Veracruz. The purpose of the wetland design is to significantly eliminate biological, chemical and physical impurities present in the water, thus contributing to the improvement of water quality and preservation of the local ecosystem.

The study consists of a bibliographic review on wetland issues at international and national level, at the same time a collection of information from the study area was carried out through interviews with the population to identify the sources of pollution and field trips to observe the conditions of the stream, in which the predominant waste are organic, inorganic and special management. The study contributes significantly to improving the community's quality of life and preserving the environment in the long term.

Keywords:

Wetland, Milcahuales, Artificial Wetland, Remediation, water quality, pollution



CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Antecedentes	8
1.2. Planteamiento del problema.....	10
1.3. Justificación	11
1.4. Hipotesis	12
1.5. Objetivo General.....	12
1.5.1. Objetivos particulares	12
CAPTULO 2. MARCO TEÒRICO	13
2.1. Humedales naturales	13
2.2. Humedales artificiales.....	13
2.5. Flora y Fauna de Milcahuales	17
2.6. Beneficios a la población de Milcahuales.....	17
CAPITULO 3. ESTADO DEL ARTE	19
3.1. Contexto internacional.....	19
3.1.1 Estudio en Colombia.....	20
3.1.2 Estudio en Cuba	21
3.1.3 Estudio en Costa Rica	21
3.2. Contexto Nacional	22
3.2.1 Estudio en tabasco	23
3.2.2. Estudio en ciudad de México.....	24
3.2.3 Estudio en Veracruz.....	25
CAPITULO 4. METODOLOGÌA	27
4.1. Área de estudio	27
4.1.1 Delimitación del área de estudio.....	27
4.1.2 Caracterización del Arroyo	28
4.2. Análisis y diseño del humedal para la localidad de Milcahuales.	29
4.2.1. Fase 1. Fuentes de contaminación.	30
4.2.2. Fase 2. Análisis de residuos vertidos en el arroyo.....	31



4.2.3. Fase 3. Identificación de Vegetación.....	32
CAPITULO 5. RESULTADOS	34
5.1. Fase 1. Fuentes de contaminación	34
5.2 Fase 2. Identificación de residuos.....	35
5.2.1 Clasificación de los residuos.....	38
5.3. Fase 3. Identificación de la vegetación.....	39
5.4. Fase 4. Diseño y descripción del humedal.....	42
CONCLUSIONES	45
PARA TRABAJOS FUTUROS	46
BIBLIOGRAFIA	47
ANEXOS.....	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. SASL. Fuente: (Chafloque, Alberto, & Guadalupe., 2006)	15
Figura 2. Milcahuales municipio de Álamo Temapache, Ver. Fuente: Mapa Digital de INEGI, 2023.....	27
Figura 3. Mapa del Arroyo Tantala a la Altura de Milcahuales. Fuente: (SIATL), 2021)...	28
Figura 4. Puntos de acceso de la población al arroyo. Fuente: Mapa Digital de INEGI, 2021	29
Figura 5. Metodología. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 6. Primer Punto del Arroyo de Milcahuales. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 7. Segundo Punto del Arroyo de Milcahuales. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 8. Tercer Punto del Arroyo de Milcahuales. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 9. Diseño de un humedal artificial de flujo vertical modificado a las dimensiones del arroyo de Milcahuales Municipio de Álamo Temapache Veracruz. Fuente: Elaboración propia.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de residuos identificados en el arroyo de Milcahuales.	38
Tabla 2. Especies de plantas identificadas alrededor del arroyo de Milcahuales.	39



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La contaminación de cuerpos de agua representa uno de los desafíos ambientales más apremiantes de nuestra era, amenazando la salud de ríos, lagos y océanos en todo el mundo; desafortunadamente este fenómeno, como consecuencia de las actividades humanas que ha generado impactos negativos significativos para la biodiversidad acuática, la calidad del agua y, en última instancia, para la salud humana. Estos tipos de contaminación pueden ser producto de diversas fuentes tales como descargas industriales, vertidos de aguas residuales urbanas, escorrentías agrícolas y contaminantes atmosféricos que se depositan en las aguas superficiales y/o en los mantos freáticos (Juste, 2024).

El uso de ecotecnologías para el tratamiento de aguas residuales es de suma importancia, ya que se aprovechan algunos de sus componentes como la biota y el suelo, para la eliminación de partículas contaminantes físicos, químicos y biológicos presente en el agua (Orozco, Cruz, & Rodríguez, 2006). En este contexto los humedales se presentan como una alternativa de solución valiosa y efectiva para abordar los problemas de contaminación de cuerpos de agua, son ecosistemas híbridos entre ambientes acuáticos y terrestres que desempeñan un papel crucial en la purificación del agua y la conservación de la biodiversidad.

Este tipo de tratamientos para la depuración de agua residuales actúan como filtros naturales al atrapar sedimentos y contaminantes, mientras que las plantas acuáticas presentes en los humedales pueden absorber y descomponer sustancias químicas perjudiciales presentes en la masa de aguas contaminadas. La capacidad de los humedales para mejorar la calidad del agua se debe a procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en su interior. La filtración natural, la adsorción de contaminantes por los sedimentos y la actividad microbiana contribuyen a la reducción de la carga contaminante en el agua (Orozco, Cruz, & Rodríguez, 2006).



El presente estudio permite que la localidad de Milcahuales perteneciente al municipio de Álamo Temapache, obtenga una alternativa de solución que puede implementar para la recuperación del arroyo, con base a un humedal subsuperficial de flujo vertical, estos ecosistemas no solo ofrecen soluciones naturales y sostenibles para la purificación del agua, sino que también promueven la conservación de la biodiversidad y brindan hábitats cruciales para numerosas especies de plantas y animales de la zona.



1.2. Planteamiento del problema

La contaminación del agua es un tema que hoy en día está muy presente, nos enfrentamos a una problemática que a lo largo de los años se ha vuelto para la sociedad cada vez más normal, gran parte de los ríos del mundo muestran algún nivel de contaminación, específicamente aquellos que cruzan por grandes zonas urbanas. Dentro de las principales causas de la contaminación hídrica (ríos o arroyos) son provocadas por aguas de origen urbano al mismo tiempo los desechos sólidos arrojados o arrastrados que llegan a los cuerpos de agua. En varios casos en donde los niveles de contaminación son extremos, tanto por sustancias dañinas como desechos sólidos, superan cualquier límite.

De acuerdo a investigaciones realizadas se afirma que el 70% de los ríos y lagos en México están contaminados, un claro ejemplo es el que se presenta en el municipio de Álamo Temapache Veracruz, ya que se ha observado que existen diferentes comunidades de las cuales a causa de una mala gestión de los residuos sólidos urbanos y la irresponsabilidad de vertimiento de aguas residuales provoca que la calidad del agua no se ha aprovechable, en la comunidad de Milcahuales la contaminación del arroyo es cada vez más notoria, la población se encuentra preocupada porque solo cuentan con ese suministro de agua para poder realizar sus actividades cotidianas.

Históricamente el uso de humedales desempeña funciones importantes que logran ayudar al ser humano, como es la lucha contra el cambio climático, el desarrollo de especies y vegetales, al mismo tiempo purificar el agua. El diseño del humedal pretende ofrecer a la comunidad de Milcahuales una solución para recuperar en un determinado tiempo el arroyo y que la población pueda ser uso de ella sin temor a tener problemas de salud en un futuro.



1.3. Justificación

La presente investigación está dirigida a proporcionar información relevante que impacte al valor teórico, en la temática de la contaminación del arroyo de la localidad de Milcahuales, con la finalidad de dar una solución mediante el diseño de un humedal para poder remover las impurezas del agua, con el estudio se pretende ayudar a la población para mejorar su único abastecimiento de agua que cuenta actualmente, ya que no se le ha prestado la atención como es debido y la problemática ha empeorado con el paso de los años. El motivo por el cual se eligió como área de estudio Milcahuales es porque es una comunidad pequeña y se teme que la población presente temas de salud en un futuro por el agua contaminada.

El municipio de Álamo Temapache cuenta con 328 localidades de las cuales se puede afirmar que parte de ellas tiene problemas de contaminación en sus cuerpos de agua, por lo que ayudará a que este estudio se replique en las comunidades que presenten dicha problemática y obtengan beneficios a favor de la comunidad. La importancia de adoptar este tipo de solución es que no solamente ayudara a la sociedad sino también a las especies que habitan en los ríos o arroyos al mismo tiempo mejora la condición del agua, suelos estables y evita deslaves; así como normalizar el clima y el almacenamiento de carbono (*Antonia Perez, García Cortés, & Jauregui Haza, 2022*).

Además, al realizar el estudio de caracterización de los diferentes tipos de residuos que se vierten en el arroyo, se desarrollara el diseño del prototipo más favorable que lograra la disminución de contaminantes presentes en el agua y demostrar que la propuesta de un humedal es la mejor opción hoy en día, aún estamos a tiempo de hacer frente a la problemática solo es cuestión de que la sociedad este dispuesta a implementar este tipos de tecnologías.



1.4. Hipotesis

A través de la caracterización exhaustiva de los residuos vertidos en el arroyo de la localidad Milcahuales, municipio de Álamo Temapache Veracruz y empleando principios de ingeniería ambiental, es posible diseñar un humedal eficiente y efectivo que sea capaz de eliminar de manera significativa las impurezas de tipo biológico, químico y físico presentes en el agua, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua y preservación del ecosistema local.

1.5. Objetivo General

Diseñar un humedal a partir de la caracterización de los residuos vertidos en el arroyo de la localidad de Milcahuales con la finalidad de remover del agua las impurezas de tipo biológico, químico o físico.

1.5.1. Objetivos particulares

- Caracterización de los residuos vertidos al arroyo de la localidad de Milcahuales.
- Identificar los tipos de contaminantes generados por los residuos vertidos al arroyo de la localidad de Milcahuales.
- Identificar la vegetación que mejor se adapte y absorba los contaminantes caracterizados.
- Proponer el diseño del humedal tomando en cuenta el sustrato, vegetación, impermeabilidad y estructura.



CAPTULO 2. MARCO TEÒRICO

2.1. Humedales naturales

Se denomina humedal natural a todas aquellas áreas que están inundadas por aguas dulces o saladas, de forma temporal o permanente, y que presentan una vegetación típica adaptada para vivir en condiciones de suelo saturado (*Cortez, Del Valle, Bravo Nivaja, & Ramirez Zierold, 2019*). Puede llegar alcanzar una gran diversidad, con un nivel de agua y con diferentes tipos de vegetación como lo son: (sumergida, flotante, emergente) y en lugares con un nivel freático menor a la superficie. Lo que llega a caracterizar a un humedal natural es la aparición de agua en un determinado tiempo para que pueda alterar los suelos, los microorganismos, comunidades de flora y fauna de la zona has que llega a una posición en donde el suelo no permite albergar especies acuáticas o terrestres.

Los cuerpos de agua están expuestos a recibir aguas contaminadas sin tener un tratamiento preliminar, lo que provoca un daño en la calidad del agua y con ello perjudica el uso del agua para las diferentes actividades cotidianas de las personas así como el daño de la diversidad existente en la zona. Ejemplo de esta situación se puede observar en el municipio de Álamo Temapache, la disposición de aguas residuales y residuos sólidos urbanos en los cuerpos de agua, es una de las fuentes de contaminación que ocasionan efectos adversos al ambiente. Gran parte de la contaminación que genera estos residuos es por la mala disposición de la basura y lo inconsciente que puede llegar a ser la población. Una alternativa para enfrentar la problemática es el diseño de un humedal artificial (*Rodríguez & Esteban Gómez, 2010*).

2.2. Humedales artificiales

(*Chafloque & Guadalupe Gomez, 2006*), denomina “Un humedal artificial como un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el



agua residual”. Los humedales artificiales tienen la ventaja de lograr el desarrollo de sistemas biológicos que se encargan de la transpiración y adsorción de los contaminantes, además entorpecer el aumento de algas. El beneficio de este tipo de sistema de tratamiento es que requieren poca o ninguna energía para ponerlos en marcha, lo cual puede ser una alternativa de costo efectivo.

2.2.1. Clasificación de humedales artificiales

Los humedales artificiales basan su proceso en actividades bioquímicas de las bacterias; el aporte de oxígeno que surge de la vegetación al entrar en contacto con el material de empaque, el cual funciona como apoyo tanto para las bacterias como para el componente vegetal, además de operar como material filtrante. Unidos estos elementos, tiene el objetivo de eliminar materiales diluidos y suspendidos en el agua residual, al mismo tiempo descomponen los materiales orgánicos hasta mineralizarlos. Su estructura permite obtener la estética del paisaje y brindar condiciones para el desarrollo de la preservación de la vida silvestre, ya que proporciona un hogar para los diferentes tipos de organismos (*Luna Pabello & Aburto Castañeda, 2014*).

- **Sistema de agua superficial libre (SASL)**

La estructura de estos sistemas constan de estanques, con un tipo de impedimento subterránea para librarse de la filtración, del suelo u otro medio con el propósito de sostener la vegetación emergente, la altura baja del agua oscila entre “0,1 a 0,6 m” (*Chafloque & Guadalupe Gomez, 2006*). La altura baja del agua, al mismo tiempo la velocidad baja de la corriente y la apariencia de esquejes de planta y basura que regulan la corriente del agua.

El agua pre tratada se deposita en estos sistemas y el tratamiento sucede cuando el flujo del agua pasa de manera lenta por el tallo y la raíz de la especie de planta emergente (figura 1).

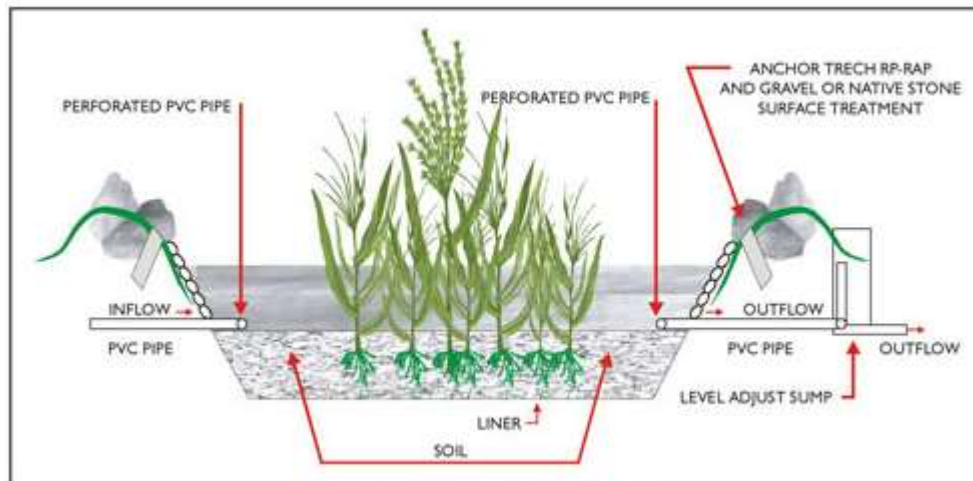


Figura 1. SASL. Fuente: (Chafloque, Alberto, & Guadalupe., 2006)

- **Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS)**

En las depuradoras convencionales, los filtros de goteo horizontales son comparables a estos sistemas. Pueden identificarse por el crecimiento de plantas emergentes que se produce en el lecho del canal utilizando tierra, grava o piedras como sustrato de crecimiento. Los microbios facultativos en el lecho atacan el medio y las raíces de las plantas, entrando en contacto con el agua sobrante que impregna el lecho horizontalmente y drena el exceso de agua a la superficie del medio. Estos sistemas tienen como finalidad recibir niveles de tratamientos secundarios, son denominados “zonas de raíces” o también “filtros de piedras de junco y caña” proveniente de Alemania Oriental (Rodríguez & Esteban Gómez, 2010).

2.4. Importancia de los humedales

Los humedales con el paso de los años han sido zonas muy importantes en el crecimiento geológico e histórico del planeta. El avance del entendimiento científico en cuanto al tema de los humedales ha puesto en demostración que los bienes y servicios son importantes para la sociedad. Los humedales son considerados como una parte fundamental del medio natural, lo cual quiere dar entender que su funcionamiento es amigable con el ambiente, ciertos estudios lo tiene inter relacionada con la fitorremediación, ya que es una técnica muy



utilizada para la eliminar, reducir y controlar contaminantes que se encuentran en el suelo, aire o agua por medio de plantas (Gobierno de Mexico, 2021).

Los humedales brindan servicios muy importantes, un ejemplo es el ciclo hidrológico al ayudar como reguladores de los efluentes de agua y en algunas ocasiones permitir el abastecimiento de agua a los humanos, hoy en día ha incrementado la competencia entre el gasto de agua para la sociedad, la agricultura y la anergia. Además apoya en el tratamiento de aguas residuales, por otra parte el aporte de la vegetación sobre el medio y el alto rendimiento, sin duda alguna los humedales son sobresalen en el clima de las ciudades como normalizador de dispersión de contaminantes al entorno (*PORTILLO, VÁSQUEZ REYES, GÓMEZ AGUILAR, & PRIEGO SANTANDER, 2015*).

Además, estos tipos de ecosistemas se piensa que son reguladores en las situaciones de alboroto y preocupación, ya sea naturales como antrópicos, al ser controladores del deterioro de suelos y ayuda en los efectos climáticos como lo son las lluvias e inundaciones (*PORTILLO, VÁSQUEZ REYES, GÓMEZ AGUILAR, & PRIEGO SANTANDER, 2015*). Al mismo tiempo los humedales son elementos de ecosistema que alberga cierta cantidad de variedad biológica, al ser habitáculo de diferentes especies de animales y plantas.

Los aportes que tienen los humedales a la sociedad es dar agua dulce y prevenir el estiaje e inundaciones, pero con el paso del tiempo se han vistos expuestos por varias causas en todo el planeta, estas causas se han intentado lidiar por organizaciones especializadas en humedales así como leyes nacionales para su cuidado. Por estos motivos los humedales necesitan amparo y conservación, es necesario tener una buena educación desde casa con el cuidado del ambiente para generar una mejor convivencia con los humedales y la población (*Molina Burgos, Suárez López, & Rodríguez González, 2013*).



2.5. Flora y Fauna de Milcahuales

En la localidad Milcahuales, alberga una variedad de ecosistemas, incluida la selva mediana perennifolia, en estos ecosistemas, se pueden encontrar especies como el chicozapote, la caoba, higo y el pucté. En áreas cercanas a ríos o arroyos, es posible encontrar una variedad de árboles y arbustos, como sauces, ahuehetes y palmas. En cuanto a la fauna existen poblaciones de armadillos, conejos, zorrillos, tlacuaches, peces, tortugas y diferentes tipos de aves entre muchas especies (*Francisco de la Cruz, Villareal Quintanilla, Estrada Castellón, & Jasso Cantuú, 2017*).

2.6. Beneficios a la población de Milcahuales

Al llevar a cabo el diseño de un humedal artificial en la localidad de Milcahuales, con lleva a tener grandes ventajas a la población al mismo tiempo beneficia a la flora y fauna de la zona, el objetivo del proyecto es diseñar el humedal de acuerdo a las condiciones en las que se encuentra una parte del arroyo Tántala que pasa por dicha localidad y así observar cual es mejor tipo de humedal que favorece al área de estudio. Sin duda alguna el uso de un humedal es la mejor opción para la recuperación del arroyo porque la inversión en esta tecnología es de bajo costo y el mantenimiento es fácil de llevar acabo que otros sistemas tradicionales para el proceso de aguas servidas y sobre todo que los humedales son agradables con el ambiente.

Entre los beneficios más evidentes que tendrá la población de Milcahuales, será que gracias al humedal contarán con agua de mejor calidad, para poder realizar sus actividades diarias, lo cual favorecerá mucho porque evitara algún tipo de enfermedad que podría contraer una persona por la contaminada agua del arroyo. En el tema económico también tiene sus beneficios ya que aportara a la población tener mejores cultivos y de calidad ya que no tendrá algún tipo de residuo contaminado al momento de regar sus cultivos, lo cual tendrá un buen desarrollo y sobre todo mejores ganancias.



En lo ecológico beneficiara mucho a la flora y fauna de la zona, pues permitirá la alimentación, el resguardo y la reproducción de las diferentes especies que habitan en el lugar, es importante tener en cuenta que desgraciadamente por la contaminación del arroyo se han perdido especies de peces, lo cual el humedal favorecerá a que especies se reproduzcan y permitir su consumo por parte de la población. Además los humedales diseñados e implementados han tenido resultados favorables para el tratamiento de aguas servidas y sobre todo que retiene el carbono del espacio, fabrica la biomasa que puede ser utilizada como motivo de energía.



CAPITULO 3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Contexto internacional

En el planeta se encuentran lugares en donde el agua es principal elemento que logra controlar el ambiente, la flora y la fauna. Estos espacios se denominan como humedales y son áreas de cambio entre medio acuáticos y terrestres. Lamentablemente parte de los humedales del planeta han sido desaparecidos por las diferentes labores que desempeñan la minería, la agricultura o el desarrollo urbano. De hecho se estima su distribución global bajo a un 71% en el siglo xx, lo que causo problemas como el calentamiento global, estiaje, inundaciones, desaparición de especies y la contaminación (*Yadi, 2018*). A pesar que los humedales a lo largo de la historia han aportado beneficios para los humanos, el reconocimiento del alcance de estos beneficios y el impacto que traerá consigo su pérdida.

Los procesos internacionales, especialmente la Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), han favorecido su entendimiento de los servicios ecosistémicos y su rol en el trayecto hacia su uso razonable. Los servicios ecosistémicos más importantes de los humedales es la captura del carbono, el respaldo de agua de calidad y suministro de riego; no solamente aporta agua de calidad si no también ofrece más bienes y servicios en tema de seguridad alimentaria y la gestión para superar las devastaciones que pueden provocar la falta de agua en temporada de estiaje o inundaciones (*Courouble, y otros, 2021*).

En la actualidad, las investigaciones se han centrado ampliamente en los impactos de esta pérdida en las propiedades ecológicas de los humedales y las pérdidas potenciales para la humanidad, si bien estas tendencias no se paran y se revierten a tiempo traerán consigo consecuencias negativas. Se reconoce que la exigencia de una protección apropiada y un uso adecuado de los humedales, es uno de los principales elementos en la elaboración de una



estrategia climática y se necesitan esfuerzos de recuperación en los lugares donde se haya presentado un deterioro evidente (*Courouble, y otros, 2021*).

A continuación se presentan, algunos trabajos de investigación sobre los humedales a nivel internacional:

3.1.1 Estudio en Colombia

La Universidad Manuela Beltrán en el año (2019), realizó el presente estudio que lleva por nombre “Valoración económica de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrece el humedal Tibanica” que se encuentra en la ciudad de Bogotá, con el objetivo de evaluar económicamente los servicios ecosistémicos (SE) más importantes que ofrece el humedal. La identificación de los servicios ecosistémicos, se llevó a cabo mediante una lista de chequeo y el diagnóstico económico por el proceso de transferencia de funciones (*Cadena Gaona, Duque Yoscua, & Ballesteros Larrotta, 2019*). Se encontró que el humedal cuenta con un plan de manejo ambiental (PMA) para su protección, conservación y uso sostenible.

Por esta razón, la identificación y el diagnóstico económico de los servicios ecosistémicos que brinda los humedales vuelve sencillo plantear y poner en práctica métodos sostenibles, que en su actualización del plan de manejo ambiental no se necesite un cambio y ayude de base para desarrollar un futuro plan de la zona de estudio. Se pretende tener en un corto plazo la salud del entorno del humedal y la salud de la población del lugar. En conclusión la metodología implementada en el estudio proporciono evaluar las relaciones (positivas y negativas) que se dan en el ámbito comunitario, económico y el natural, dentro de los servicios ecosistémicos que dio el humedal Tinabica en el año 2017 fueron: regulación de erosión, provisión de agua y de hábitat (*Cadena Gaona, Duque Yoscua, & Ballesteros Larrotta, 2019*), lo cual indica que el uso de un humedal es importante para la población ya que nos proporciona servicios que nos ayudan en el día a día.



3.1.2 Estudio en Cuba

Otro estudio realizado por la Universidad de Oriente Cuba en el año (2012), llevo a cabo un proyecto titulado: “Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: diseño, construcción y evaluación”, con el objetivo de diseñar, construir y analizar un humedal de tipo subperifical vertical para concluir el tratamiento de las aguas servidas domesticas en la empresa “SOLDAR” genera (Hernández Ruiz, Pérez Villar, & Rodríguez Dominguez, 2012). La metodología empleada fue la caracterización del agua residual se llevó acabo la toma de muestras compuestas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, (cada 15 min durante todo el tiempo de bombeo).

De acuerdo a los resultados obtenidos en las muestras, realizaron el diseño del humedal se tomó en cuenta el sustrato, la vegetación, impermeabilidad y la estructura de entrada y salida que con lleva el humedal. El proyecto obtuvo resultados esperados, se observó un desempeño favorable ya que aumento de manera importante el oxígeno diluido en el agua residual en la salida del humedal, lo que favoreció la alimentación discontinua y permitió la ventilación del sistema. El humedal de flujo vertical, acondicionado tras el sistema de tratamiento existente en la planta de soldadura, elimino con éxito las impurezas de las aguas residuales, excepto el fosforo, cuyo valor era ligeramente superior al límite permitido a vertir (Hernández Ruiz, Pérez Villar, & Rodríguez Dominguez, 2012).

3.1.3 Estudio en Costa Rica

No solamente en países como Cuba y Colombia se han realizado estudios sobre los humedales, sino también en Costa rica se llevó acabo el estudio de “Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales” en el año (2013), con la participación de la Universidad Nacional, Heredia Costa Rica y el Laboratorio de Gestión de Desechos, Escuela de Química. El objetivo de la investigación es el implementación de un humedal artificial subsuperficial de tipo horizontal para el tratamiento de aguas negras que genera una industria farmacéutica, empleando un



sistema a base de macrófitas enraizadas emergentes ya que es una tecnología que es de bajo costo y eficaz.

El diseño del humedal artificial se estructuró por un pozo séptico, cajas de registro y un sedimentador el cual se encarga de eliminar los sólidos suspendidos y minimizar los niveles de $DBO_{5,20}$ de las aguas anticipadamente de su estrada al humedal. El HA se construyó sobre una base de geotextil y geomembrana impermeable y la especie de planta que se utilizó fue *Cyperus papyrus*, la cual se sembró 4 por cada m^2 . En cuanto a la entrada del agua a tratar se logró mediante una tubería de distribución colocada cerca de la superficie y perpendicular flujo y en la salida se ejecutó por una tubería maleable que desemboca en una caja de registro totalmente cerrada para su siguiente tratamiento en un sistema terciario para eliminar contaminantes remanentes (Pérez Salazar, Alfaro Chinchilla, & Sasa Marín, 2013).

El humedal implementado obtuvo una alta capacidad de eliminación de carga orgánica en el agua, los números reflejados fueron del 91% en el $DBO_{5,20}$ y en el caso de DQO con un porcentaje del 72%. La fabricación del humedal artificial de flujo subsuperficial para el manejo de las aguas negras consecutivo a un sistema tradicional de tanque séptico, puso en evidencia que es una solución factible para el manejo de ecotecnologías en la eliminación de aguas en el mundo (Pérez Salazar, Alfaro Chinchilla, & Sasa Marín, 2013).

3.2. Contexto Nacional

Los humedales son lugares importantes, parte de ellos proporciona agua dulce y en ellos resguardan la diversidad y abundancia natural, un aspecto positivo de los humedales es que su función es tratar el agua y evitar inundaciones. Culturas de diferentes partes de México preservaron un vínculo estrecho con los humedales, una de esas culturas fueron los Olmecas que aparecieron en las costas del sur de los estados de Veracruz y Tabasco, en la zona centro del Golfo de México, áreas en donde la mayoría del tiempo están inundadas por el agua de los ríos como Coatzacoalcos, Tonalá y Papaloapan (Moreno & Barceló, 2012).



Uno de los humedales más importantes que cuenta México es el de las milenarias pozas de Cuatro Ciénegas el cual se encuentra en el maravilloso estado de Coahuila, sobre sale porque en el albergan una variedad de biodiversidad. Lo apartado y estable de estos humedales ha generado la reproducción exclusiva en la zona, entre las que pueden mencionarse tortugas, peces, diferentes tipos de algas entre otras especies. De manera global los humedales obtienen un incremento en la producción pesquera, son asilo de plantas y animales, aportan diferentes bienes y servicios. Por otra parte son portadores de agua para el consumo humano, aumenta los mantos acuíferos, trata el agua y mejora su calidad, pueden ser aprovechados como una alternativa de energía, protector contra catástrofes naturales (*Durán Domínguez & Navarro Frómata, 2019*).

El crecimiento económico de un país es primordial, pero tiene que analizar el aumento y mantenimiento de la protección de la sociedad y nunca en el aumento de la marginación de la calidad de vida. Actualmente nos encontramos en un crucigrama en la que el gobierno quiere darle bienestar para garantizar estas mismas condiciones y que perduren para las generaciones futuras de mexicanos. La utilización de los bienes y servicios que desarrollan los humedales a las personas es fundamental, por lo que es urgente buscar opciones que logren un crecimiento económico pero al igual un mantenimiento de sus funciones (*Moreno & Barceló, 2012*).

A continuación se presentan, algunos trabajos de investigación sobre los humedales a nivel nacional:

3.2.1 Estudio en tabasco

En México el tema de los humedales artificiales es de suma importancia, hoy en día se han llevado a cabo estudios en diferentes partes del país, un ejemplo de ello es en el estado de Tabasco, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) en el año 2016, realizo el estudio de “Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México”. Con el objetivo de observar la eficiencia de eliminación de contaminantes en un



humedal artificial subsuperficial con plantas macrófita como el Tule y carrizo, las cuales predomina en la región de Tabasco.

Para la fase experimental del estudio se construyeron 12 humedales, de los cuales se le proveía el agua residual de la universidad cuya agua era usada para el servicio de sanitarios y cafetería. Se utilizó un diseño completo, consto de 3 niveles los cuales se usó el Tule, Carrizo y Grava, se llevó acabo tomas de muestras para medir los parámetros de cada nivel, por ejemplo la turbiedad, color, DQO, NT, el DBO₅, PT y SST, tanto en la entrada como en la salida de agua del humedal, la muestras se tomaron en el periodo de septiembre, octubre y noviembre. La vegetación se adaptó al humedal en un lapso de 40 días, al concluir la fase de adaptación se llevó acabo el muestreo del agua para evaluar la efectividad del removimiento de los contaminantes en los 3 diferentes sistemas colocados (*Marín Acosta, Solís Silván, López Ocaña, Romellón Cerino, & Bautista Margulis, 2016*).

Los resultados de los 3 diferentes humedales concluyeron que el mejor humedal fue donde se utilizó la vegetación macrófita de Tule con un removimiento del 95% concretando los límites de la NOM-001-SEMARNAT-1996, en segundo lugar lo ocupó el sistema donde se empleó la vegetación del carrizo con un removimiento del 89% obtuvo un efecto importante y por último el sistema de grava (control) presento una baja efectividad de removimiento con un 72% (*Marín Acosta, Solís Silván, López Ocaña, Romellón Cerino, & Bautista Margulis, 2016*) Gracias a este estudio realizado por la universidad de tabasco se logra garantizar que el uso de los humedales artificiales es una gran opción para la población.

3.2.2. Estudio en ciudad de México

Se llevó acabo el estudio titulado “Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón” el cual fue realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México en el año 2014. El objetivo del estudio fue describir los las características sobre el diseño, realización y operación de un humedal artificial (STHA). Sin duda alguna el lago del Bosque de San Juan Aragón se encontraba eutrofizado porque las descargas de una planta de aguas servidas mejor conocido como



“Tlacos”, el cual su método se basa en lodos activados convencionales (*Luna Pabello & Aburto Catañeda, 2014*).

En la metodología se siguió los siguientes puntos: Caracterización del agua a tratar por el STHA, de acuerdo con los resultados esperados y en términos globales se puede decir que cumple con los niveles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. En el tema del diseño y construcción que consto de 5 sitios depuradores como: (acueducto, sedimentador, humedal artificial de tipo superficial, humedal artificial de flujo subsuperficial y barrera de gaviones). En cuanto al componente vegetal se utilizó la vegetación nativa de la zona y varios organismos que aunque no son originarios de dicha zona, son utilizados para el apropiado funcionamiento del tren de tratamiento.

Una vez concluida la fase, se realizó una recorrido para observar la construcción del STHA, cuando se empezó la operación del sistema se volvió a hacer una inspección para comprobar su funcionamiento adecuado y que no tuviera ningún problema en cada una de sus etapas. El humedal demostró un rendimiento para minimizar el volumen de carbono y de bacterias coliformes, a límites en donde la calidad del agua se ha apropiada para el uso del agua en sitios recreativos en donde la sociedad tiene interacción directa con la misma. De igual modo, en el caso de compuestos nitrogenados y fosforados la disminución no solo rebaso lo establecido por la normatividad nacional, sino que ha disminuido los valores que permite someter el proceso de eutrofización (*Luna Pabello & Aburto Catañeda, 2014*).

3.2.3 Estudio en Veracruz

El agua es un vital líquido para la supervivencia de los seres humanos, la fauna y numerosos ecosistemas. Por ello se realizó el estudio titulado “Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan, Veracruz, México” por el Colegio de Veracruz en el año 2016. Con el objetivo de evaluar la eliminación de contaminantes de las aguas servidas por medio de microcosmos de humedales plantados con la planta anea, en la comunidad de Pastorías.



Para el estudio se implementaron 12 microcosmos de forma cilíndrica de material plástico como humedales de flujo vertical con una altura de 0.36 m y 0.29 m de diámetro. De los 12 microcosmos, 6 fueron utilizados para plantarse Anea (*Typha spp*), 3 en asistencia de piedra porosa de río y los últimos 3 con roca tepezil. Los humedales se nutrieron con agua de la llave por un mes y 10 días con agua residual combinada al 50% con agua de la llave para la fase de adecuación de la vegetación (*Marín Muñiz, 2016*).

En resumen el estudio realizado demostró que al utilizar tepezil y piedra porosa de río como sustratos, ambos fueron aptos en la remoción de contaminantes, especialmente en presencia de plantas, en este estudio se empleó *Typha spp* como vegetación. Los resultados obtenidos demostraron que al utilizar los sustratos evaluados en presencia de *Typha spp* son una opción funcional para remover contaminantes mediante humedales artificiales y por esta razón se recomienda su implementación en comunidades rurales (*Marín Muñiz, 2016*).



CAPITULO 4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

4.1.1 Delimitación del área de estudio

La localidad de Milcahuales se localiza en el Municipio de Temapache (en el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). Cuenta con 281 habitantes de cuales 147 son hombres y 134 mujeres (INEGI 2020).

Como se puede observar en la (figura 2), Milcahuales se localizado en una altura de 97 metros sobre el nivel del mar, con una altitud de 21.154444 y la longitud de -97.699444. En el sistema DMS la latitud es 210916 y la longitud es -974158.



Figura 2. Milcahuales municipio de Álamo Temapache, Ver. Fuente: Mapa Digital de INEGI, 2023

El índice de población analfabeta en Milcahuales es del 6.05% en el 2020, una cifra que disminuyo ya que en el 2010 se tenía un registrado de 9.77% de la población que no podía leer ni escribir, en datos culturales el porcentaje de población indígena que vive en la



localidad es del 3.91% el cual el 2.14% habla una lengua indígena. En cuanto a las viviendas se tiene un número de 81 viviendas particulares habitadas, la mayoría de las viviendas cuenta con electricidad, un refrigerador, televisión, teléfono celular, agua entubada y excusado o sanitario (INEGI 2020). Sin embargo una parte pequeña de las viviendas cuentan con el servicio de internet o un automóvil, lo que dificulta trasladarse a la cabecera de Álamo Temapache o al municipio de Cerro Azul para hacer alguna compra o trámite que la población requiera.

4.1.2 Caracterización del Arroyo

Se realizó una demarcación cartográfica del área de estudio con el apoyo del simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas, 2021 (SIATL) del INEGI, con el objetivo de observar el cauce del arroyo Tántala que pasa por la localidad de Milcahuales.



Figura 3. Mapa del Arroyo Tántala a la Altura de Milcahuales. Fuente: (SIATL), 2021).

Posteriormente se llevó acabo un recorrido por el área, lo cual se lograron identificar los 3 puntos en donde la población baja al arroyo para hacer uso del agua, como se muestra en el ejemplo (figura 4), se puede apreciar los puntos de acceso que utiliza los habitantes de la localidad de Milcahuales.

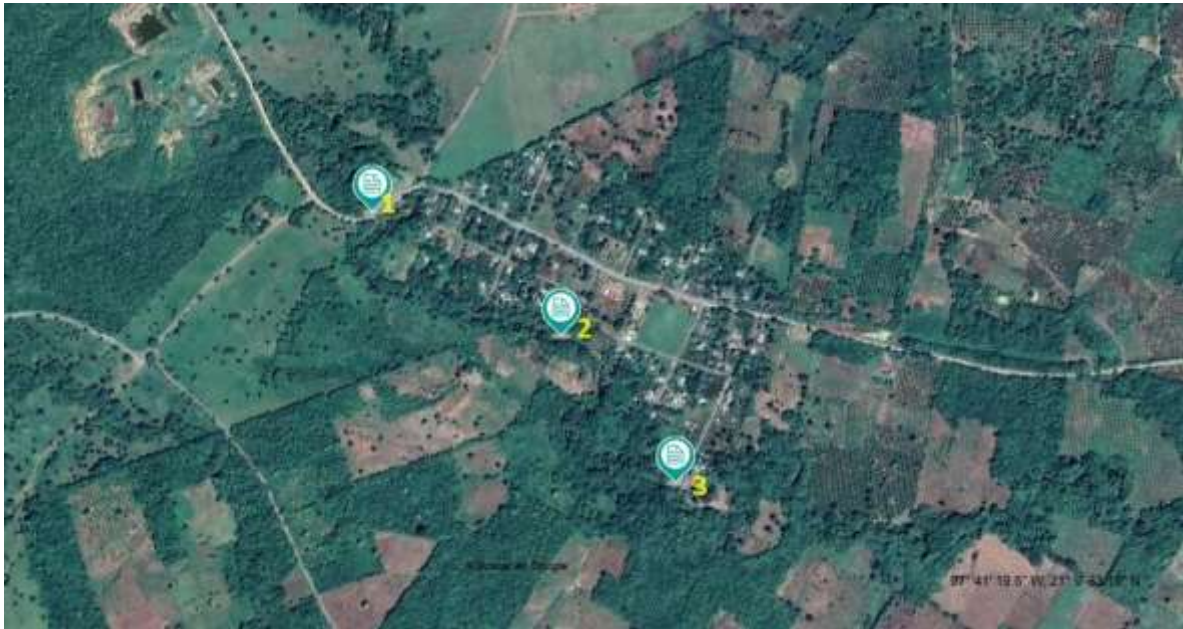


Figura 4. Puntos de acceso de la población al arroyo. Fuente: Mapa Digital de INEGI, 2021

4.2. Análisis y diseño del humedal para la localidad de Milcahuales.

El presente estudio propone una metodología integral para el análisis y diseño de un humedal, como una estrategia sostenible para mitigar los impactos ambientales negativos. La metodología se estructura en 4 fases fundamentales, cada una diseñada para abordar aspectos específicos del entorno acuático en Milcahuales. Fuentes de contaminación presente en la zona, análisis de los residuos vertidos en el arroyo, identificación de la vegetación presente en la zona y diseño del humedal integrando los hallazgos de las fases anteriores.

Esta metodología holística no solo aspira a rehabilitar el entorno acuático en Milcahuales, sino también a servir como un modelo replicable para abordar desafíos similares en otras comunidades. La combinación de análisis exhaustivos y enfoques participativos posiciona este estudio como una contribución valiosa para la gestión sostenible de recursos hídricos y la conservación del medio ambiente (figura 5).

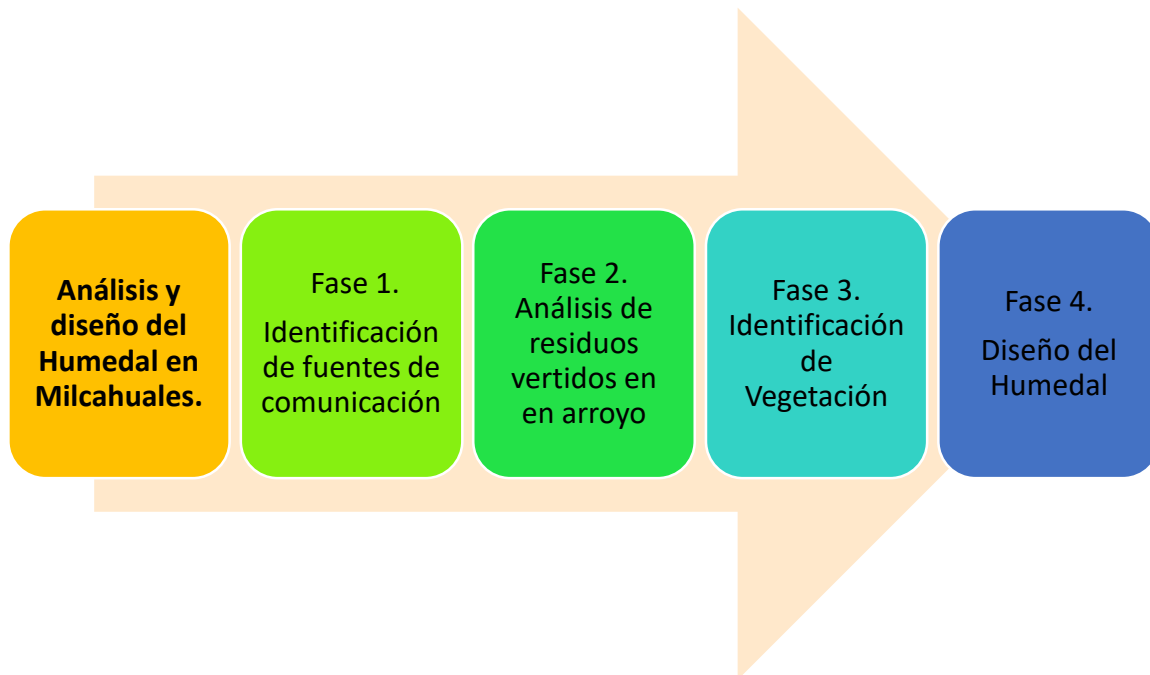


Figura 5. Metodología. Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Fase 1. Fuentes de contaminación.

La primera fase de la metodología se centró en la identificación de las fuentes de contaminación en Milcahual, empleando un enfoque participativo que involucro entrevistas a la población local y al agente municipal de la comunidad, la entrevista consto de 4 sencillas preguntas (anexo A) y estuvo dirigida a 15 personas al azar para saber lo que piensan sobre la contaminación presente en su localidad. A través de este proceso, se recopiló información valiosa sobre las actividades humanas que podrían contribuir a la degradación del entorno acuático.

Las entrevistas con la población local proporcionaron percepciones comunitarias y conocimientos específicos sobre las prácticas diarias, actividades industriales y patrones de vertido de residuos. Este enfoque participativo no solo permitió la identificación de fuentes evidentes de contaminación, si no también reveló prácticas menos obvias que podrían tener impactos significativos en la calidad del agua.



4.2.2. Fase 2. Análisis de residuos vertidos en el arroyo.

La segunda fase de la metodología se desplegó mediante un recorrido exhaustivo por los tres puntos de acceso al arroyo utilizados por la población de Milcahuales para aprovechar sus aguas. Durante este proceso de campo se llevaron a cabo observaciones detalladas para identificar patrones de vertido y evaluar la presencia de residuos en el entorno acuático. El procedimiento para la recopilación de información se realizó de la siguiente manera:

1. Planificación del recorrido: Se determinaron los puntos de acceso que la población utiliza para bajar al arroyo para hacer uso del agua.
2. Registro de ubicaciones: Se anotan las coordenadas GPS para identificar con precisión la ubicación de cada punto de acceso en el arroyo.
3. Observaciones visuales: Se realizaron observaciones visuales para identificar posibles fuentes de contaminación, como tuberías de desagüe, vertederos ilegales o cambios en el color o la apariencia del agua.
4. Descripción de los residuos: Se registró el tipo de residuos visibles en el entorno del arroyo, como plásticos, residuos orgánicos, productos químicos.
5. Fotografías: Se tomaron fotografías de los residuos y las condiciones del entorno para documentar visualmente la situación.

Este enfoque permitió una comprensión precisa de las prácticas locales y sus posibles impactos en la calidad del agua.

La clasificación de los residuos se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos en el artículo 18 de la ley general para la prevención y gestión integral de residuos. Este marco legal proporciona una base sólida para la identificación y categorización de los residuos recopilados durante el recorrido. La clasificación permitió discernir entre residuos orgánicos, inorgánico, peligroso y otros, facilitando un análisis más específico de la carga contaminante presente en el arroyo.



4.2.3. Fase 3. Identificación de Vegetación

La tercera fase de la metodología se enfocó en la identificación de la vegetación presente en el arroyo de Milcahuales. Mediante un estudio exhaustivo, se catalogó la diversidad de especies vegetales presentes en el entorno acuático, destacando aquellas con capacidades particulares para la purificación del agua y la estabilización del ecosistema.

La clasificación de especies se realizó considerando no solo su presencia sino también su función ecológica. Se identificaron plantas con propiedades filtrantes y capacidad de absorción de contaminantes, con el objetivo de comprender su papel en la mejora de la calidad del agua en el humedal. Además se evaluó la viabilidad de reintroducir especies clave que pudieran fortalecer la capacidad de autodepuración del ecosistema.

4.2.4. Fase 4. Diseño del humedal.

La cuarta fase de la metodología se centró en el diseño del humedal, integrando los conocimientos adquiridos en las tres fases anteriores para asegurar una planificación integral y eficaz. Cabe destacar que este proyecto se centró exclusivamente en el diseño del humedal y no abordará la fase de implementación. El diseño del humedal se realizó de la siguiente manera:

1. Integración de datos recopilados.
 - Revisión y síntesis de los resultados obtenidos en las fases anteriores.
 - Identificación de patrones clave de contaminación, características del arroyo y especies vegetales relevantes.
2. Determinación de los requisitos de diseño.
 - Establecimiento de objetivos específicos para el humedal, considerando la capacidad de autodepuración, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad del agua.



- Definición de parámetros de diseño, como el tamaño del humedal, la distribución de zonas funcionales y la selección de especies vegetales.
3. Selección de técnicas y tecnologías.
 - Evaluación de técnicas de construcción de humedales, considerando la topografía del área y los recursos disponibles.
 - Selección de tecnologías de filtración y purificación del agua pasada en la composición de los residuos identificados en la fase 2.
 4. Consideración de aspectos comunitarios y educativos.
 - Integración de iniciativas educativas para sensibilizar a la comunidad sobre la importancia del humedal y la necesidad de conservar el entorno acuático.
 - Involucramiento de la comunidad en la toma de decisiones sobre el diseño del humedal para fomentar la apropiación y el compromiso.
 5. Documentación detallada del diseño.
 - Elaboración de planos detallados que reflejen la disposición espacial de las estructuras y la vegetación en el humedal.
 - Desarrollo de especificaciones técnicas que sirvan como guía para futuras fases de implementación.

La fase 4 no solo se enfoca en la ingeniería del humedal, sino también en la planificación estratégica y participativa, asegurando un diseño integral que aborde las necesidades específicas de Milcahuales y sienta las bases para futuras acciones de restauración y conservación del ecosistema acuático.



CAPITULO 5. RESULTADOS

5.1. Fase 1. Fuentes de contaminación

Gracias a la participación del agente Municipal y la población en general de la localidad por responder la encuesta aplicada, ver (anexo A) con el propósito de conocer la perspectiva de las personas hacia el cuerpo de agua y la situación actual del mismo. A continuación se da conocer los resultados de la entrevista que se realizó a las 15 personas que viven en Milcahuales.

Respecto a la primera pregunta, ¿Considera que existe algún tipo de contaminación sobre el arroyo de su localidad?, se obtuvo que las 15 personas consideran que si existe una contaminación y que con el paso del tiempo la situación ha empeorado.

En cuanto a la segunda pregunta, ¿Qué tipos de residuos se encuentran presentes en el arroyo?, 13 de las 15 personas, es decir el 87% respondieron que PET, bolsas de plástico, llantas, vidrio, mientras que 2 personas equivalente al 13% opinaron que calzado, ramas de árboles, unigel y televisiones.

En la tercera pregunta, ¿A qué cree que se deba dicha contaminación?, las 15 personas respondieron que la falta de gestión y concientización del municipio de Cerro Azul ya que los residuos estancados en el arroyo, se presentan cuando en temporadas de lluvias el arroyo sube y trae consigo la basura proveniente del basurero, el cual se encuentra cerca. Al mismo tiempo las descargas del drenaje y las aguas residuales del rastro municipal de Cerro Azul, son una gran fuente de contaminación por que traen partículas como materia orgánica, grasas, aceites, nitrógeno y fosforo.

Por último, en la cuarta pregunta, ¿El gobierno municipal ha tomado cartas en el asunto para disminuir la contaminación? Las 15 personas, es decir el 100% opinaron que la actual administración es la primera que se preocupa en querer recuperar el arroyo, realizando limpieza con los habitantes de dicha localidad para sacar toda la basura estancada.



Analizando las fuentes de contaminación se puede decir que el hecho de que esos contaminantes existan en el agua puede provocar algún tipo de enfermedad a la población por sus altos niveles de materia orgánica presente en el agua.

5.2 Fase 2. Identificación de residuos

A continuación, se muestra el listado de los residuos identificados presentes en los tres puntos seleccionados.

- En el primer punto (figura 6) que se encuentra ubicado en la entrada de la localidad de Milcahuales, se logró identificar los siguientes tipos de residuos:
 - I. Plástico soplado
 - II. PET
 - III. Unicef
 - IV. Vidrio
 - V. Llantas
 - VI. Calzado
 - VII. Televisiones
 - VIII. Ramas de arboles



Figura 6. Primer Punto del Arroyo de Milcahuales. Fuente: Elaboración propia.

- El segundo punto (Figura 7) se ubica en la calle que se encuentra a un costado de la escuela Primaria, se identificaron los siguientes residuos:
 - I. PET
 - II. Bolsas de plástico
 - III. Plástico soplado
 - IV. Ramas de arboles



Figura 7. Segundo Punto del Arroyo de Milcahuales. Fuente: Elaboración propia.

- El último punto (Figura 8) el cual se encuentra al final de la comunidad, se identificaron los siguientes residuos:
 - I. Llantas
 - II. Bolsas de plástico
 - III. PET



Figura 8. Tercer Punto del Arroyo de Milcahuales. Fuente: Elaboración propia.



5.2.1 Clasificación de los residuos

Una vez identificados los residuos, se procedió a clasificar tomando en cuenta las propiedades organolépticas para determinar el tipo de residuo. A continuación se presenta la siguiente (tabla 1) en donde se clasifico los diferentes residuos existentes en el arroyo de Milcahuales.

Tabla 1. Clasificación de residuos identificados en el arroyo de Milcahuales.

Residuo	Tipo de residuo
Plástico soplado	Inorgánico
Bolsas de plástico	Inorgánico
PET	Inorgánico
Unicel	Inorgánico
Vidrio	Inorgánico
Llantas	De manejo especial
Calzado	Inorgánico
Televisiones	De manejo especial
Ramas de arboles	Orgánico

La ley general para la prevención y gestión integral de residuos (LGPGIR) en su artículo 18 dispone que los residuos sólidos urbanos se subclasificaran en orgánicos e inorgánicos, con el objetivo de favorecer su separación en primaria y secundaria, de acuerdo a los programas estatales y municipales para la prevención y la gestión integral de los residuos, de acuerdo al régimen jurídico aplicable (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017*).

- **Orgánicos:** Todo residuo de origen biológico, que en su tiempo fue parte de un organismo vivo.
- **Inorgánicos:** Todo residuo que no proviene de algún organismo vivo.



De acuerdo a la (LGPGIR) denomina a los Residuos de Manejo Especial “RME” como aquellos materiales que se generan en los procesos productivos o de servicios, que no reúnen propiedades para tomarlos como peligrosos o como residuos sólidos urbanos (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017*).

5.3. Fase 3. Identificación de la vegetación

Para la obtención de la caracterización de la vegetación presente en el arroyo; se realizó un recorrido, con la idea de identificar los diferentes estratos vegetales presentes en el área, lo cual se lograron identificar las siguientes especies de plantas (Tabla 2), en el área predomina más el hecho de cal y la cala negra, es más común encontrar estas 2 especies en el arroyo de Milcahuales.

Tabla 2. Especies de plantas identificadas alrededor del arroyo de Milcahuales.

Nombre científico	Nombre común
<i>Pneumatopteris pennigera</i>	Helecho de cal
<i>Typhonium blumei</i>	La cala negra
<i>Pennisetum SP</i>	Pasto marafalfa
<i>Megathyrsus maximus</i>	Pasto mombaza
<i>Campanilla</i>	Ipomoea cholulensis
<i>Bambusoideae</i>	Bambús
<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	Oreja de elefante
<i>Cissus verticillata</i>	Bejuco ubí
<i>Ficus carica</i>	Higo

Gracias a la caracterización de la vegetación se logró seleccionar las especies que son más adecuadas para el área de estudio, considerando su función estética (ornato) y capacidad para remover contaminantes (depuradora). La existencia de vegetación tiene como resultado la



regulación sobre las características hidráulicas en los humedales artificiales. Un dato relevantes es que los tallos de las plantas reparten y disminuye la velocidad del agua beneficiando el almacenamiento de los sólidos en suspensión, de igual manera rebaja los riesgos de erosión aumento del tiempo de interacción entre el agua y la superficie de la planta (Mendoza Chavarría & Párraga Mendoza, 2021).

A continuación se muestra un listado de las plantas que se pueden utilizar en el humedal subsuperficial vertical, que de acuerdo a sus características se adaptaran mejor al área de estudio:

- Carrizo (*Phragmites australis*)

Se trata de una planta herbácea de hábitos acuáticos que se desarrolla en humedales a la ribera de arroyos o estanques, puede crecer hasta una altura de 5 metros y tiene hojas largas y delgadas que pueden medir hasta 60 cm de largo. La planta es capaz de absorber una amplia gama de contaminantes, incluyendo metales pesados, pesticidas y nutrientes. Esto puede ayudar a mejorar la calidad del agua en los humedales y proporcionar un hábitat saludable para la vida acuática (Vázquez Chacón, 2020).

- Papiro (*Cyperus papyrus*)

Es una planta adaptable, fácil de cultivar y divertida de reproducir. El papiro desarrolla largos tallos sin hojas rematados por un grupo de finas brácteas que parecen un paraguas, la altura varían de 18 a 4 pies o más. Son originarias de marismas, estanques y arroyos y tienen características depuradoras de Agua (Hernández, 2022).

- Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

El Jacinto de agua es una planta acuática muy popular como planta ornamental para estanques artificiales, pero también evita el aumento de algas y limpia el agua contaminada de sustancias tóxicas (Tajada Tovar, Paz Astudillo, & López Badel, 2018).



- Lenteja de agua (*Wolffia Arrhiza*)

Esta planta flotante se encuentra en aguas tranquilas, como estanques, ríos y arroyos, actúa como un filtro natural, absorbiendo los excesos de nutrientes y purificando el agua. Además, su rápida reproducción ayuda a dominar el crecimiento de algas nocivas y mejora la calidad del agua en general (Planta y Tallo, 2023).

- Lirio amarillo (*Iris pseudacorus*)

Es una especie de lirio de color amarillo que es originario de la familia Iridáceas. Es fácil de encontrar en las orillas de los ríos o lagunas de cierta profundidad. Es de gran utilidad ornamental y también ecológica, ya que sus raíces tienen el poder de absorber los metales pesados que se encuentran en el agua y en el suelo (Ansola & Escalante, 1994).

- Totora (*Typha angustifolia*)

Es una planta acuática que se encuentra en las especies de plantas de ribera con forma ornamental. La totora se comporta como un sistema de depuración natural, ayudando a la filtración del agua y la retención de nutrientes. Ayuda a eliminar el exceso de nutrientes del agua, evitando la eutrofización y manteniendo la salud general de los ecosistemas de humedales (Eva, 2020).

- Junco común (*Juncus effusus*)

El Junco es una planta perenne que puede tener un tamaño entre 30 y 100 cm de altura, se desarrollan en áreas húmedas. Los juncos ofrecen mejorar la calidad del agua (Molina, 2023). Ellos tienen la posibilidad de absorben contaminantes y nutrientes excesivos, lo que ayuda a prevenir la eutrofización, un problema ambiental donde el exceso de nutrientes en cuerpos de agua puede destruir a la fauna y flora acuática.



5.4. Fase 4. Diseño y descripción del humedal

De acuerdo a las características de los residuos identificados en el área de estudio y la vegetación presente, la mejor opción para el tipo de humedal que se puede implementar en la localidad de Milcahuales, es un humedal subsuperficial de flujo vertical, ya que son sistemas en los que el agua residual fluye a través del sustrato, en general gravilla, entrando en contacto con los microorganismos que colonizan la superficie tanto de las raíces de las plantas como del propio sustrato (Molina Burgos, Suárez López, & Rodríguez González, 2013). A continuación se presenta una descripción general de los componentes que lleva el humedal:

La entrada de agua del arroyo se conducen a través de un canal hacia el humedal por medio de una bomba de gasolina de riego agrícola, de la marca Honda de 2 pulgada, el canal estará revestido para prevenir la infiltración de agua alrededor del humedal. Para el control del flujo se utilizaran válvulas de control para regular el flujo de entrada de agua al humedal, es importante para adaptarse a variaciones en el caudal de agua y garantizar un tiempo de retención adecuado en el sistema.

Para la parte del sustrato del humedal estará conformado por varias capas de diferentes materiales, la distribución de los sustratos estará de la siguiente manera: en la parte inferior se colocara grava gruesa con una altura de (10 cm), la segunda capa es la gravilla una granulométrica de (40 cm), la tercera capa es la turba con espesor de (10 cm) resulta ideal para lograr el desarrollo y crecimiento de diferentes tipos de especies vegetales, para la capa superior es la arena gruesa de (20 cm) para evitar la acumulación de sedimentos del medio.

El agua pasara a través del medio poroso y se recolectara por medio de unas tuberías de drenaje con un tamaño de entre 3-4 pulgadas ubicadas en la parte de la base del sistema del humedal con una distancia entre tubería de 4m, la cual estará cubierta con grava para evitar la acumulación de aguas descubiertas durante los tiempos de bombeo, asistido por la pendiente de 1%. La base y los taludes estarán revestidos por una geomembrana de 0.0254 mm.



La vegetación que se estará implementado en el humedal son las siguientes plantas:

- Carrizo: Se sembrara por rizomas (tallos subterráneos), en su primer año alcanzara la madurez y puede producir semillas, propagándose también por rizomas para formar densas colonias. Es una planta perenne que persiste durante varios años en humedales.
- Papiro: Se germinara por medio de semillas, desarrolla tallos altos y hojas en forma de abanico en su primer año y continuar creciendo, es una planta que se adapta rápido.
- Lenteja de agua: Se reproducirá por medio de esquejes, está compuesta por una o varias hojas y raíces diminutas, puede persistir durante todo el año, propagándose rápidamente para formar densas colonias en el humedal.
- Junco de agua: Se sembrara por medio de semillas desarrolla tallos erectos y cilíndricos con hojas largas y delgadas, logra su madurez en el primer año o el segundo dependiendo de las condiciones. Su reproducción es por semillas o por rizomas y persiste años en humedales.

Las plantas se distribuirán estratégicamente en el lecho del humedal para maximizar la absorción de nutrientes y favorecer la oxigenación del sistema, las raíces de estas plantas proporcionan una superficie para el crecimiento de microorganismos beneficiosos que participan en la descomposición de los contaminantes.

Con el diseño del humedal se pretende tratar un aproximado de 65,000 Ll de agua el cual estará dividido en 5 tiempos al día para evitar algún contratiempo a la hora de ingresar el agua. Para la salida del efluente tratado asía el arroyo se incorporara un sistema de desbordamiento para regular el nivel del agua en el humedal con la finalidad de evitar que el agua tratada se acumule en exceso y garantiza que solo el excedente fluya hacia la salida.

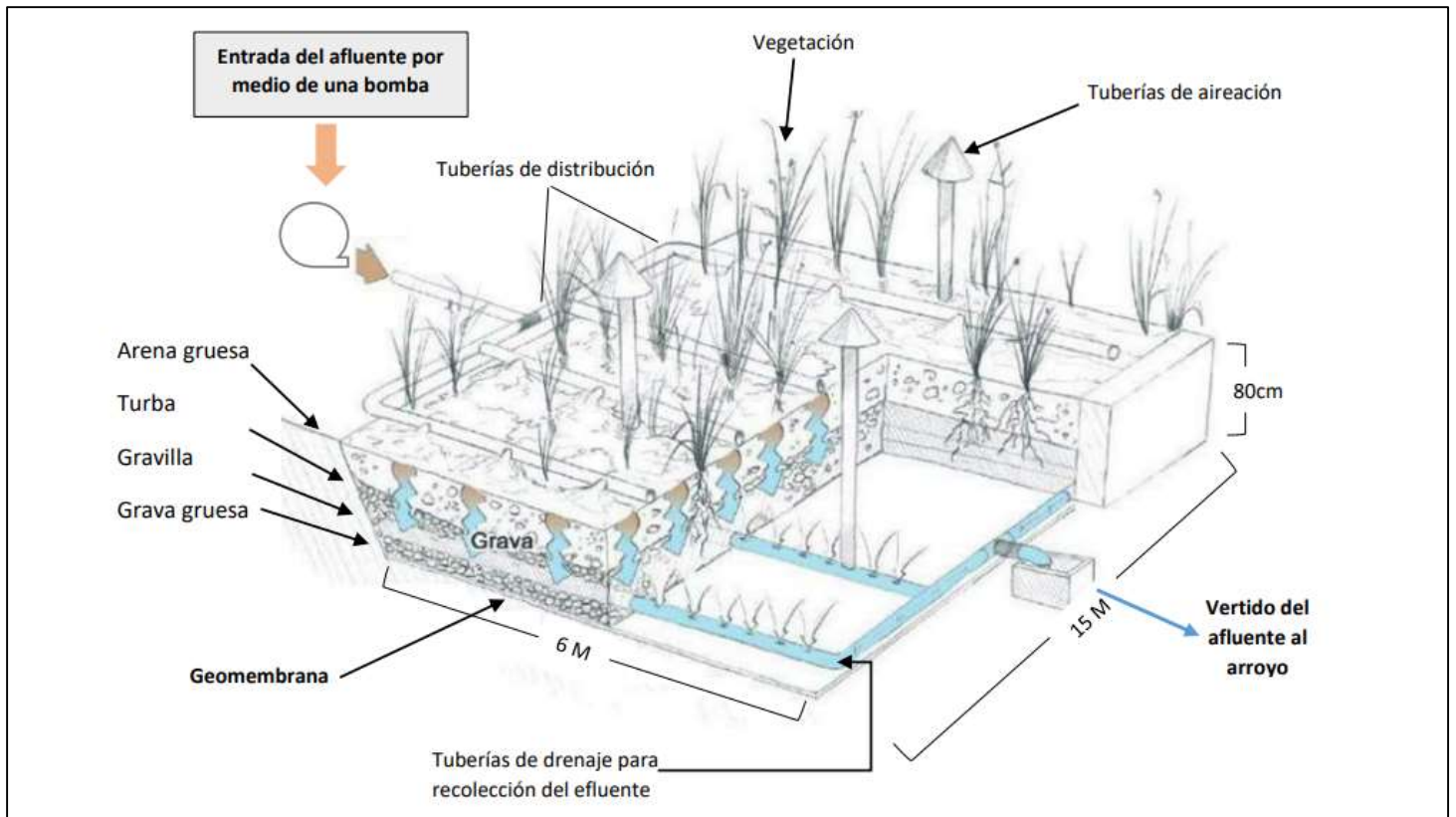


Figura 9. Diseño de un humedal artificial de flujo vertical modificado a las dimensiones del arroyo de Milcahuales Municipio de Álamo Temapache Veracruz. Fuente: Elaboración propia.



CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado sobre la caracterización de los residuos vertidos en el arroyo de la comunidad de Milcahuales, todo indico que el tipo de humedal que mejor se adapta a la zona de estudio es un humedal subsuperficial de flujo vertical, este sistema presenta varias ventajas clave que lo destacan como una solución eficiente y sostenible.

En primer lugar, el humedal ofrece un tratamiento biológico altamente efectivo, utilizando procesos naturales para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua, esto no solo garantiza un agua tratada de alta calidad, sino que también minimiza el impacto ambiental en comparación con tecnologías más convencionales.

Además, la simplicidad de diseño y operación del humedal facilita su mantenimiento y gestión por parte de la comunidad. Sin duda alguna si se implementa el humedal tendrá muchísimos beneficios tanto para las futuras generaciones de la localidad.



PARA TRABAJOS FUTUROS

- ❖ Realizar estudios de monitoreo para tener un seguimiento continuo del rendimiento y la efectividad del humedal artificial.
- ❖ Investigar y desarrollar nuevas técnicas de diseño y construcción de humedales artificiales adaptadas a las condiciones específicas del lugar, considerando factores como el tipo de suelo y las especies vegetales de la zona.
- ❖ Promover programas de educación ambiental y participación comunitaria para incrementar la conciencia en tema de los humedales artificiales y su importancia para el planeta.
- ❖ Investigar formas de optimizar los procesos de tratamiento de aguas en los humedales artificiales.
- ❖ Llevar a cabo análisis económicos para evaluar la viabilidad financiera de la implementación y mantenimiento de los humedales artificiales, tanto los costos de construcción como los beneficios económicos y ambientales a largo plazo.

Estas recomendaciones pueden servir como punto de partida para futuros trabajos en el tema de humedales artificiales ya sea en el municipio de Álamo Temapache como en otros lugares, ayudando a mejorar su eficiencia, sostenibilidad, beneficios la sociedad y el ambiente.



BIBLIOGRAFIA

(SIATL), S. d. (2021). INEGI.

Ansola, G., & Escalante, L. (1994). CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN HELÓFITOS ACUÁTICOS UTILIZADOS EN DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUAL. *Limnética*, 33-36.

Antonia Perez, Y., García Cortés, D., & Jauregui Haza, U. (26 de Abril de 2022). Humedales contruidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 31(1), 2279. doi:10.7818/ecos.2279

Cadena Gaona, J. A., Duque Yoscuca, S. D., & Ballesteros Larrotta, T. M. (2019). Valoración económica de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrece el humedal Tibanica(Bogotá, Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 1-13.

Chafloque, W. A., & Guadalupe Gomez, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de investigacion de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geograficas*, 85-96.

Cortez, V. M., Del Valle, D., Bravo Nivaja, A., & Ramirez Zierold, J. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 319-343.

Courouble, M., Davidson, N., Dinesen, L., Fennessy, S., Galewski, T., Simpson, M., & Stroud, D. (2021). *Perspectiva mundial de los humedales*. Suiza: Secretaría de la Convención sobre los humedales.

Durán Domínguez, M. D., & Navarro Frómata, A. E. (2019). El tratamiento descentralizado del agua residual de pequeñas localidades rurales y suburbanas: los humedales contruidos, una tecnología a considerar. *Revista Cubana de Química*, 87-104.

Eva. (02 de Noviembre de 2020). *Flores y Plantas*. Obtenido de Flores y Plantas: <https://plantasyjardin.com/2020/11/typha-angustifolia-la-tatora/>

Francisco de la Cruz, A., Villareal Quintanilla, J., Estrada Castellón, E., & Jasso Cantuú, D. (2017). Flora y vegetación del municipio Álamo Temapache, Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*, 83-124.

Gobierno de Mexico. (09 de Febrero de 2021). Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-importancia-de-los-humedales?idiom=es>



- Hernández , J. (12 de Octubre de 2022). *Flores y Plantas*. Obtenido de <https://plantasyflores.pro/plantas-que-depuran-el-agua/>
- Hernández Ruiz, J. M., Pérez Villar, M., & Rodríguez Dominguez, E. (Mayo de 2012). Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: diseño, construcción y evaluación. *Revista Cubana de Química*, 147-154.
- Juste, I. (11 de Enero de 2024). *Contaminación del Agua: Causas y consecuencias- 2024*, *ecologiaverde.com*. Recuperado el 15 de Febrero de 2024, de EcologiaVerde: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-agua-causas-y-consecuencias-614.html>
- Luna Pabello, V. M., & Aburto Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Consejo Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 32-55.
- Luna Pabello, V. M., & Aburto Catañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de aragón. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológica*, 32-55.
- Marín Acosta, C., Solís Silván, R., López Ocaña, G., Romellón Cerino, M. J., & Bautista Margulis, R. G. (2016). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. *Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 1-20.
- Marín Muñiz, J. L. (2016). Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan Veracruz México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 553-563.
- Mendoza Chavarría, C. J., & Párraga Mendoza, A. J. (2021). *Evaluación de tres tipos humedales artificiales (ornamental, forraje, alimenticio) como depurador de aguas residuales grises en el Bosque de la ESPAM*. Ecuador: ESPAM MFL. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1448>
- Molina Burgos, J., Suárez López, J., & Rodríguez González, M. (2013). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería, investigación y tecnología*.



- Molina, R. (17 de Octubre de 2023). *Guia verde*. Obtenido de guia verde: <https://florsperatu.com/junco/>
- Moreno, P., & Barceló, C. (2012). *Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de Los humedales en México Oportunidad para la sociedad: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Humedales.pdf>
- Orozco, C., Cruz, A. M., & Rodríguez, M. A. (2006). Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 190-196.
- Pérez Salazar , R., Alfaro Chinchilla, C., & Sasa Marín, J. (Junio de 2013). Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Unicencia*, 332-340.
- Planta y Tallo*. (06 de Junio de 2023). Obtenido de Planta y Tallo: https://plantaytallo.com/wolffia-arrhiza-o-lenteja-de-agua/#google_vignette
- PORTILLO, J. A., VÁSQUEZ REYES, V. M., GÓMEZ AGUILAR, L. R., & PRIEGO SANTANDER, Á. G. (07 de Abril de 2015). *Universidad Veracruzana*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2023, de Universidad Veracruzana: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9655/09HUMEDALESB.pdf>
- Rodríguez, J. P., & Esteban Gómez, M. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencia del agua*, 20-45.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (10 de Enero de 2017). *Gobierno de Mexico*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>
- Tajada Tovar, C., Paz Astudillo, I., & López Badel, C. (2018). Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Revista Cubana*, 211-221.



Vázquez Chacón, J. Y. (16 de Diciembre de 2020). *Lifeder*. Obtenido de Lifeder:
<https://www.lifeder.com/carrizo-phragmites-australis/>

Yadi. (20 de Septiembre de 2018). *Monex ¿Qué son los humedales y su importancia a nivel mundial?* Recuperado el 1 de Octubre de 2023, de
<https://blog.monex.com.mx/empresas/los-humedales-importancia-a-nivel-mundial>



ANEXOS

ANEXO A. PREGUNTAS DE ENTREVISTA A LA POBLACIÓN

- I. ¿Considera que existe algún tipo de contaminación sobre el arroyo de su localidad?
- II. ¿Qué tipos de residuos se encuentran presentes en el arroyo?
- III. ¿A qué cree que se deba dicha contaminación?
- IV. ¿El gobierno municipal ha tomado cartas en el asunto para disminuir la contaminación?