



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN**

**“HUMEDAL CONSTRUIDO A NIVEL MESOCOSMOS PARA  
EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL  
RASTRO MUNICIPAL DE TANTOYUCA, VERACRUZ”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**FABIO JHOSSEF HERNÁNDEZ ALEJO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DRA. LIDILIA CRUZ RIVERO**

**CODIRECTOR:**

**DR. NICOLÁS FRANCISCO MATEO DÍAZ**

**Agosto/2025**



GOBIERNO DEL ESTADO DE  
**VERACRUZ**  
2024 - 2030

**SEV**  
SECRETARÍA  
DE EDUCACIÓN  
DE VERACRUZ

**SEMSys**  
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN  
MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR



FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS DE POSGRADO

Tantoyuca, Ver., a 12 de agosto de 2025.

**C. FABIO JHOSSEF HERNÁNDEZ ALEJO**  
PRESENTE:

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE: DRA. LIDILIA CRUZ RIVERO  
SECRETARIO: DR. LEOBARDO MENDO OSTOS  
VOCAL: DR. HORACIO BAUTISTA SANTOS  
SUPLENTE: DRA. FABIOLA SÁNCHEZ GALVÁN

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

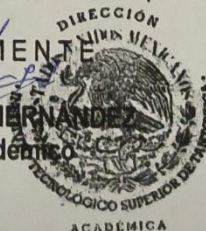
**"HUMEDAL CONSTRUIDO A NIVEL MESOCOSMOS PARA EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO  
DE AGUA RESIDUAL DEL RASTRO MUNICIPAL DE TANTOYUCA, VERACRUZ"**

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras doradas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

ATENTAMENTE

DR. JULIO MEZA HERNÁNDEZ  
Director Académico



C.c.p. Servicios Escolares.  
Titulación de Posgrado

Desviación Lindero Tametate S/N, Col. La Morita, C.P. 92100, Tel: (+52) 789 893 2503 ext. 101  
www.itsta.edu.mx



POR AMOR A  
**VERACRUZ**

R02/0820

F-PG-03



GOBIERNO DEL ESTADO DE  
**VERACRUZ**  
2024 - 2030

**SEV**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN  
DE VERACRUZ

**SEMSys**  
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN  
MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR



**DET**  
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN  
TECNOLOGICA DEL ESTADO  
DE VERACRUZ



Tantoyuca, Veracruz a 12 de agosto de 2025

Yo, FABIO JHOSSEF HERNNÁNDEZ ALEJO, alumno (a) de la carrera de MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL, con numero de control M233S0007, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: **"HUMEDAL CONSTRUIDO A NIVEL MESOCOSMOS PARA EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL RASTRO MUNICIPAL DE TANTOYUCA, VERACRUZ"**, desarrollado en: INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA, durante el periodo comprendido del 01 de octubre del 2023 al 01 de septiembre del año 2025 del cual declaro:

- Que es inédito
- Que es de mi autoría y me hago responsable por su contenido
- Que autorizo al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca para que, en el caso de que sea requerido pueda hacer uso libre de la totalidad del contenido del proyecto, para que sea desarrollado o divulgado en cualquier medio impreso o electrónico.
- El presente instrumento no contempla remuneración alguna por la transferencia de los derechos sobre dicho proyecto.

Lo anterior con el fin de que quede expresamente asentado mi consentimiento total a favor del instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en todo lo relativo al proyecto en mención.

Para constancia firma:

FABIO JHOSSEF HERNÁNDEZ ALEJO

Nombre y firma del(a) alumno(a)

Vo. Bo.

DRA. LIDILIA CRUZ RIVERO

Nombre y firma del asesor interno.

Desviación Lindero Tametate S/N, Col. La Morita, C.P. 92100, Tel: (+52) 789 893 2503 ext. 101  
www.itsa.edu.mx



POR AMOR A  
**VERACRUZ**

R01/0720

F-PG-07

## **DEDICATORIA.**

A Dios por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Olga Lidia, por su amor incondicional y apoyo constante durante todo mi proceso. Te amo mamá.

A mi hermana la Ing. Sandy Yureyma y a mi hermano el Lic. Ian André, por su apoyo al estar presentes en cada momento.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Con profundo aprecio y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mi directora de tesis la Dra. Lidilia Cruz Rivero y a mi codirector Dr. Nicolás Francisco Mateo Díaz. Su dedicación docente y su inestimable guía fueron pilares fundamentales en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

Expreso mi agradecimiento a los revisores, el Dr. Leobardo Mendo Ostos y el Dr. Horacio Bautista Santos, cuyas observaciones y constructivos comentarios han sido cruciales en la consolidación de este trabajo.

Mi gratitud se extiende al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca que me fue otorgada y que me permitió llevar a cabo esta investigación.

Al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca y a la Universidad del Caribe, bastiones de excelencia académica, fomentando el desarrollo de un espíritu crítico esencial para el análisis de los desafíos regionales.

Finalmente, a mis compañeros de clase, juntos enfrentamos desafíos y celebramos logros. Espero que este agradecimiento refleje mi respeto y aprecio por cada uno de ustedes.

## RESUMEN.

En este estudio, se evaluó la factibilidad técnica del tratamiento de agua residual generada en el rastro municipal de Tantoyuca Veracruz; buscando la adaptación de la especie *Opuntia cochenillifera* para el proceso de remoción de contaminantes; cladodios de esta especie fueron regados con agua residual del rastro municipal en diferentes concentraciones cada cinco días durante un periodo de tres meses. Además, se comparó la capacidad de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) con las especies *Colocasia esculenta* ( $T_1$ ) y *Opuntia cochenillifera* ( $T_2$ ); estas fueron sometidas a un sistema de humedal construido a nivel mesocosmos, con un tanque de almacenamiento de 100 000 mL con camas de tratamiento con volumen real de 110 000 mL y un caudal de 500 mL s<sup>-1</sup>. Los resultados mostraron crecimientos significativos en ambas especies; de los dos parámetros analizados de las aguas residuales sin tratamiento ( $T_0$ ) los valores obtenidos; DQO 21841 mg/L y SST 633 mg/L, respecto a  $T_1$  el resultado para DQO 142.7 mg/L, SST <10 mg/L y el  $T_2$ ; DQO 147.3 mg/L, SST 16 mg/L. Se observó una diferencia significativa entre ambos tratamientos permitiendo contemplar que la especie *Opuntia cochenillifera* logro remoción de contaminantes y adaptación al medio. Las aguas que salían del  $T_1$ , presentaban un color traslucido y amarillento, el agua del  $T_2$  presentaba un color más amarillo, exceso de hierro presente en sangre de los mamíferos. Los factores externos durante el proceso fueron en periodo de sequía, se debe indagar el comportamiento del tren de tratamiento y los cultivos en periodos de frio y lluvias. Además de monitorear parámetros como el nitrógeno tota, fosforo total, metales pesados y patógenos, esto para determinar en un periodo más largo la cantidad de estos; parámetros que también son parte importante para considerar dentro del monitoreo de las aguas residuales. Por lo que se concluye, que la especie *Opuntia cochenillifera* es una especie prometedora para el eficiente tratamiento de aguas.

**Palabras clave:** *Opuntia cochenillifera*; Humedal construido; Tratamiento de agua; Rastro municipal.

## ABSTRACT.

In this study, the technical feasibility of treating wastewater generated at the municipal slaughterhouse in Tantoyuca, Veracruz, was evaluated, focusing on the adaptation of the species *Opuntia cochenillifera* for contaminant removal. Cladodes of this species were irrigated with slaughterhouse wastewater at different concentrations every five days over a three-month period. Additionally, the chemical oxygen demand (COD) and total suspended solids (TSS) removal capacity of *Colocasia esculenta* (T1) and *Opuntia cochenillifera* (T2) was compared. Both species were placed in a constructed wetland mesocosm system, consisting of a 100,000 mL storage tank, treatment beds with a real volume of 110,000 mL, and a flow rate of 500 mL s<sup>-1</sup>.

Results showed significant growth in both species. For the untreated wastewater (T0), the measured values were: COD 21,841 mg/L and TSS 633 mg/L. In T1, COD was reduced to 142.7 mg/L and TSS to <10 mg/L, while in T2, COD reached 147.3 mg/L and TSS 16 mg/L. A significant difference was observed between treatments, indicating that *Opuntia cochenillifera* achieved both contaminant removal and environmental adaptation. Effluent from T1 exhibited a translucent yellowish color, whereas T2 effluent presented a more intense yellow hue, likely due to excess iron from mammalian blood.

External factors during the process included drought conditions; therefore, further research should investigate the performance of the treatment system and plant growth under cold and rainy seasons. Monitoring of additional parameters—such as total nitrogen, total phosphorus, heavy metals, and pathogens—is also recommended to determine their long-term concentrations, as these are critical indicators for comprehensive wastewater assessment.

In conclusion, *Opuntia cochenillifera* is a promising species for the efficient treatment of wastewater.

**Keywords:** *Opuntia cochenillifera*; Constructed wetland; Water treatment; Municipal slaughterhouse.

## Contenido

CAPITULO I .....	11
1.1 INTRODUCCIÓN.....	11
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.5 HIPÓTESIS.....	17
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	17
1.6.1. ALCANCES.....	17
1.6.2. LIMITACIONES.....	17
CAPITULO II .....	18
2.1 AGUA EN MÉXICO.....	18
2.2 CONTAMINACIÓN.....	18
2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	19
2.4 AGUAS RESIDUALES.....	19
2.5 RASTROS MUNICIPALES.....	21
2.6 HUMEDALES CONSTRUIDOS.....	24
2.7 NOPAL.....	26
2.8 COLOCASIA ESCULENTA.....	29
2.9 NORMATIVA VIGENTE.....	31
CAPITULO III .....	33
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.2 OBJETO DE ESTUDIO.....	34
3.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE HUMEDAL CONSTRUIDO.....	36
3.4 ANÁLISIS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, TURBIDEZ Y COLOR.....	40
3.5 SÓLIDOS SEDIMENTABLES.....	42
3.6 EXPERIMENTACIÓN DE <i>OPUNTIA COCHENILLIFERA</i> Y LAS AGUAS RESIDUALES.....	43
3.7 CREACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CON UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (MESOCOSMOS).....	45
CAPITULO IV .....	50

4.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE HUMEDAL CONSTRUIDO.....	50
4.4 ANÁLISIS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, TURBIDEZ Y COLOR. ....	53
4.5 SÓLIDOS SEDIMENTABLES. ....	54
4.6 EXPERIMENTACIÓN DE <i>OPUNTIA COCHENILLIFERA</i> Y LAS AGUAS RESIDUALES. ....	56
4.7 CREACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CON UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (MESOCOSMOS). ....	56
CAPITULO V .....	62
5.1 CONCLUSIONES .....	62
5.2 RECOMENDACIONES. ....	65
REFERENCIAS. ....	66
ANEXOS .....	75

## INDICE DE FIGURAS.

CAPITULO I .....	11
Figura 1.1. ....	13
Figura 1.2. ....	13
CAPITULO II .....	18
Figura 2.1. ....	18
Figura 2. 2. ....	21
Figura 2.3. ....	22
Figura 2.4. ....	25
Figura 2.5. ....	25
Figura 2.6. ....	26
Figura 2.7. ....	29
Figura 2.8. ....	29
Figura 2.9. ....	31
CAPITULO III .....	33
Figura 3.1. ....	34
Figura 3.2. ....	35
Figura 3.3. ....	35
Figura 3.4. ....	38
Figura 3.5. ....	41
Figura 3.6. ....	41
Figura 3.7. ....	42
Figura 3.8. ....	42
Figura 3.9. ....	43
Figura 3.10. ....	44
Figura 3.11. ....	44
Figura 3.12. ....	45
Figura 3.13. ....	46
Figura 3.14. ....	46
Figura 3.15. ....	47
Figura 3.16. ....	49
CAPITULO IV .....	50
Figura 4.1. ....	50

Figura 4.2.....	51
Figura 4.3.....	52
Figura 4.4.....	52
Figura 4.5.....	54
Figura 4.6.....	55
Figura 4.7.....	56
Figura 4.8.....	57
Figura 4.9.....	57
Figura 4.10.....	58
Figura 4.11.....	58
Figura 4.12.....	59
Figura 4.13.....	60
Figura 4.14.....	60
Figura 4.15.....	61
Figura 4.16.....	61

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

La industrialización, el mejoramiento de procesos productivos y la demanda de productos y servicios han generado en la actualidad una gran derrama económica, un incremento en vacantes laborales y mejoramiento en la calidad de vida. Todo proceso o servicio existente tiene su lado positivo y a su vez consecuencias negativas, la contaminación es una de las principales problemáticas con las que se está afrontando la sociedad.

Hoy por hoy, la búsqueda por reducir el impacto negativo hacia el medio ambiente es mayor; el encontrar fuentes de energías renovables que sean sustitutas de aquellas tradicionales es cada vez mayor, el cambio se contempla lento pero firme hacia la sustitución progresiva de recursos como el petróleo o el carbón para la generación de energía.

Por otro lado, la reutilización de residuos es otro punto que confronta la problemática antes planteada, desde desechos hogareños hasta los del rubro industrial, este punto en nuestro país es muy débil, pero en aumento; por ejemplo, de acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2016).

Para el año 2016 en México se reciclaron 4.9 millones de toneladas de papel lo que cubrió el 88% de las necesidades de fibra del sector de la industria de la celulosa y del papel. También no es novedad escuchar hablar del tratamiento de aguas residuales, públicas o privadas. Todo lo anterior son claros ejemplos de la búsqueda por mejorar.

El control por cambiar o mejorar algunos procesos o tratamientos de desechos para que estos emitan menos cantidades de contaminantes o a demás se reduzcan, puesto que son dañinos para el medio ambiente y para el ser humano de manera directa o indirecta se ha perfilado para ser actualmente la norma en crecimiento.

Es por lo antes mencionado que son muchos los esfuerzos por disminuir la cantidad de transgresión al entorno, generar nuevos marcos normativos para la producción agropecuaria y el uso adecuado de los recursos, la producción industrial, la protección ambiental y el crecimiento demográfico debe abordarse desde una perspectiva multidisciplinaria que tenga en cuenta la dimensión social, económica y política de los problemas ambientales, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT, 2023). Con el objetivo final de no causar un daño severo, manteniendo una correcta calidad de vida para la sociedad actual y heredar un adecuado entorno para las generaciones futuras.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El crecimiento demográfico aunado a la sobredemanda de productos y servicios ha generado una sobreexplotación de recursos naturales y modificación del entorno natural a nivel mundial, como lo estipula (CONAHCYT, 2024); La crisis es tan profunda en algunas regiones que representa ya un grave riesgo para la salud humana y la garantía de los derechos humanos fundamentales.

El uso de los recursos naturales forma parte fundamental para la subsistencia humana, el agua es un ejemplo que hoy en día se presenta como un recurso natural no renovable; su sobreexplotación y contaminación ha generado que el vital líquido presente una reducción y una tasa de contaminación muy elevada.

Los cuerpos de agua en nuestro país son de suma importancia ya que estos forman una gran variedad de ecosistemas; encabezando la lista se encuentran los ríos. El 69% del escurrimiento natural de agua deriva de las cuencas de los ríos Balsas, Santiago, Verde, Ometepe, Fuerte, Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coahuila, Pánuco, Tecolutla, Bravo y Tonalá; cuya superficie corresponde al 38% del país; Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020).

Los cuerpos de agua antes mencionado se encuentran actualmente en un deterioro constante debido a la explotación y recepción de contaminantes, entre ellos aguas residuales sin tratamiento. Como se muestra en la (*Figura 1.1*) el aumento de

descargas de aguas residuales tratadas en cuerpos superficiales desde el año 1998 hasta el 2018 incremento en un 60%; dejando un 40% de aguas sin tratamiento.

Situación/Tendencia

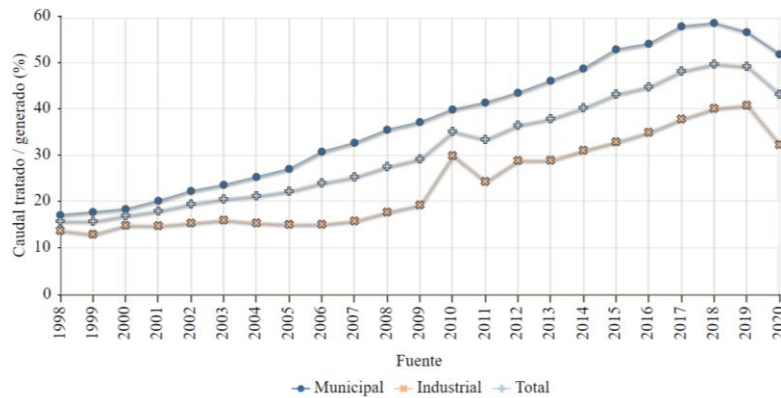


Figura 1.1. Porcentaje de aguas residuales generadas que reciben tratamiento. (SEMARNAT, 2024).

Como se muestra en la (Figura 1.2), para el año 2018 en los Estados Unidos Mexicanos la distribución del uso del agua se encontraba liderado por el rubro agrícola seguido del abastecimiento público y es de sentido común que estos dos rubros se mantengan en aumento.

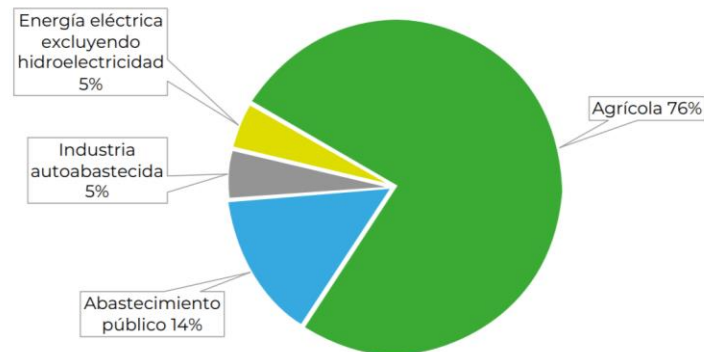


Figura 1.2. Distribución de volúmenes de agua concesionados para usos consuntivos en los Estados Unidos Mexicanos. Comisión Nacional Del Agua (CONAGUA, 2020).

El agua se ha convertido en tema de importancia en políticas ambientales. Una de las problemáticas que se presentan es el verter agua derivada de procesos sin tratamiento a un ritmo en el que se impida su reinserción al ciclo hidrológico. Las aguas residuales de rastro municipales no cuentan con tratamiento y son vertidas al entorno, de acuerdo con la Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2025) en el estado de Veracruz se cuenta con nueve rastros de tipo inspección federal, los cuales se encuentran bajo regulación conforme a normativa. Desde esta perspectiva los rastros municipales quedan sujetos a un sistema de producción anticuado y antihigiénico, mientras que el manejo, tratamiento y disposición final de sus residuos no es la excepción. Por ello se plantea que

*¿A partir del diseño y evaluación un prototipo de humedal construido a nivel mesocosmos, a partir del cultivo de *Opuntia cochenillifera* es factible el tratamiento de aguas residuales del rastro municipal de Tantoyuca, Ver?*

Con base a lo anterior, ¿es posible brindar la oportunidad a un sistema que no se ha implementado en el municipio, como lo es el humedal construido, enfocado a este sector productivo?

Por lo anterior es indispensable el correcto tratamiento de las aguas contaminadas por procesos antropogénicos y su adecuado reingreso a su ciclo hidrológico, puesto que este recurso es de vital importancia en diferentes aspectos del rubro social, ambiental y económico.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

La creación de soluciones a problemáticas perjudiciales para nuestro medio es de vital importancia, son muchos los retos que conlleva la situación actual pese a la creciente demanda de bienes y servicios debido al crecimiento demográfico; por otro lado, los procesos productivos que sobreexplotan recursos con la necesidad de obtención de varios productos y sus residuos son de gran impacto, mas, si la problemática no es atendida, como lo es la generación de aguas residuales y que son vertidas a cuerpos de agua sin tratarlas.

El aumento de las aguas de desecho generadas en los diferentes rubros productivos y la falta de plantas tratadoras de agua o procesos que permitan el adecuado tratamiento de estas antes de reingresarlas a cuerpos superficiales va en aumento en 1992 operaban 394 plantas municipales, mientras que en 2016 este número se había incrementado a 2 536 plantas municipales y 3 041 plantas industriales, (SEMARNAT, 2024). Sin embargo, la cantidad de plantas tratadoras y su correcto funcionamiento dejan en una incertidumbre la lucha contra el problema actual que es la creciente generación de esta agua de residuo y la aun incapaz solución para hacer frente a esta problemática.

Lo anterior debido a que México ocupa el segundo lugar después de China en utilizar el agua residual cruda para riego, así lo afirman investigadores de la UNAM y de otras instituciones de educación pública en la Agenda Ambiental 2018 Diagnóstico y Propuestas, Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones (SUSMAI, 2018). En la que se indica que 54% de las plantas menores a cien litros por segundo funcionan y 25% lo hacen de manera adecuada.

Las plantas de tratamiento municipales en México presentan una calificación global de pésimo a mal funcionamiento. En ninguna de ellas, se aplican medidas específicas para la remoción de los contaminantes emergentes, y la cloración no asegura la eliminación completa de microorganismos resistentes, como virus y parásitos, (IAGUA, 2018).

La falta de coordinación entre usuarios y autoridades, aunado a la falta de un adecuado tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas; conducen a la sobre explotación del recurso, la contaminación de ecosistemas, la degradación de los suelos y a un impacto negativo sobre la seguridad alimentaria, (Peña et al., 2013).

Por lo tanto, son varias las medidas a considerar para el tratamiento de las aguas residuales, esto debido a que los parámetros a inspeccionar son varios y específicos, de conformidad a la *NOM-001-SEMARNAT-2021* (DOF, 2022). Dentro de esta norma se tienen dos parámetros a considerar como lo es la *Demanda*

*Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST)*. La DQO se define como la concentración de oxígeno equivalente a la cantidad de un oxidante especificado, consumida por la materia disuelta o suspendida cuando se trata una muestra de agua con el oxidante bajo condiciones definidas. (Secretaría de Economía [SE], 2010) NMX-AA-089/2-SCFI-2010 Protección al ambiente - calidad del agua vocabulario - parte 2 (cancela a la nom-aa-89/2-1992). Mientras que los SST es la cantidad de residuo retenido en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro nominal de un micrómetro y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (Lecaros & Viale, 2008).

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y evaluar un prototipo de humedal construido a nivel mesocosmos, para el tratamiento de aguas residuales del rastro municipal de Tantoyuca, Ver. A partir del cultivo de *Opuntia cochenillifera*.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la DQO y SST de las aguas residuales del rastro municipal con base en análisis de laboratorio bajo normativa vigente.
- Identificar las configuraciones de los humedales construidos utilizados para tratar agua residual, así como su funcionamiento y especies sembradas en la conformación del estado de la técnica para el diseño del mesocosmos experimental.
- Analizar el comportamiento de la planta *Opuntia Cochenillifera* a emplear con el agua residual para definir su adaptación.
- Desarrollar un sistema de humedal construido mesocosmos, para simular un entorno para el cultivo de *Opuntia Cochenillifera* y *Colocasia esculenta* como cultivo de referencia.

## **1.5 HIPÓTESIS.**

- **H<sub>i</sub>.** Prototipo de humedal construido logrará obtener un 70% de eficiencia usando *Opuntia Cochenillifera* como cultivo para remoción de DQO y TSS.

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

### **1.6.1. ALCANCES.**

- Lograr la determinación las condiciones de las aguas residuales y sus contaminantes.
- La investigación se enfocará solo en la viabilidad de crear un humedal construido a nivel mesocosmos.
- Determinación de la capacidad de procesar las aguas residuales y su correcta filtración.

### **1.6.2. LIMITACIONES.**

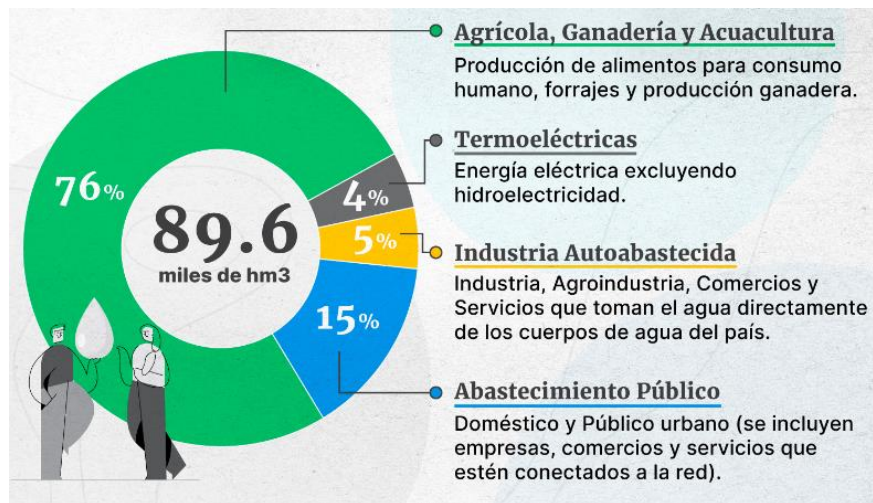
- Dificultad en la toma de muestras por causas meteorológicas (lluvias fuertes o huracanes).
- Poca disponibilidad de equipo e instrumentos calibrados y certificados para el procesamiento de muestras.
- Baja accesibilidad a puntos específicos para toma de muestras.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO.

#### 2.1 AGUA EN MÉXICO.

El agua es un recurso vital el cual es imperativo para el desarrollo de las actividades en los diferentes aspectos cotidianos, industriales y agropecuarios. En los últimos años, el agua se ha convertido en un elemento central en las políticas ambientales y económicas actuales y en un factor clave para el desarrollo social. (Marín et al., 2024). La sobreexplotación de este recurso es notoria con forme se denota el crecimiento agropecuario, poblacional e industrial; los cuales van de la mano para el crecimiento del país. Como se muestra a continuación, (*Figura 2.1*).



*Figura 2.1. Distribución porcentual de agua concesionada por uso. (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2023).*

#### 2.2 CONTAMINACIÓN.

Se denomina contaminación atmosférica o contaminación ambiental a la presencia de cualquier agente (físico, químico o biológico) o una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean nocivos para la salud, para la seguridad y el bienestar de la población, o puedan ser perjudiciales para los seres vivos en general. (Palacios et al., 2022).

La contaminación se presenta en diferentes formas y afecta de modo directo o indirecto los distintos ecosistemas y la variedad de recursos ahí presentes, alterando sus composiciones químicas y físicas en forma tal que impiden el uso adecuado de los mismos.

### **2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.**

La contaminación hídrica se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. (Guadarrama et al., 2016). El agua es un recurso presente en muchos aspectos de la vida, se puede encontrar en los procesos más sencillos del día a día como lo es cocinar, lavar, aseo personal y consumo, hasta procesos más grandes como lo es la industria en sus diferentes aspectos. Debido a esta situación en la que el agua se convierte en un recurso indispensable también se transforma en el objeto de mayor degradación. El crecimiento demográfico y la creciente industrialización tornan la contaminación del agua en un proceso acelerado.

La contaminación del agua se denomina a cualquier alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor (Triana, 2007). es por lo anterior que en México se cuenta con normativa vigente para el análisis del agua, como lo es el agua potable para uso o consumo lo cual se rige por la NOM-127-SSA1-2021 límites máximos permisibles de la calidad del agua y además para el agua residual tratada que se reutiliza en servicios al público y que se basa en la NOM-003-ECOL-1997, por mencionar algunas, toda norma publicada en el diario oficial de la federación.

### **2.4 AGUAS RESIDUALES.**

Del 1 de enero al 31 de diciembre de 2021 se incorporó a 218,917 habitantes al servicio formal de agua potable y 74,592 al servicio formal de alcantarillado, con apoyo del Programa de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, (CONAGUA, 2021). Con lo anterior se enmarca el beneficio y logro de uno de los puntos establecidos en el programa nacional hídrico 2020-2024 para el derecho al acceso al agua y

saneamiento para la ciudadanía. Por otro lado, se denota a su vez el incremento en el encause de aguas residuales a cuerpos superficiales de agua de primer uso (ríos y lagos).

Las aguas residuales, son el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI], 1980). son aquellas que, tras su uso en diversos procesos, sean industriales, urbanos o agrícolas, son desechadas y que estas presentan una alteración fisicoquímica en su composición natural lo cual impide que sean aptas para su aprovechamiento de manera directa, esto debido a que logran generar problemas de salud a los seres humanos y alteración e impacto negativo a los ecosistemas a los que son reinsertadas.

Las razones principales para el tratamiento de las aguas antes de su reinsertación al ciclo natural se podrían resumir en los siguientes:

- Higiénicas y de salud pública.
- Medioambientales y del cuidado del recurso.
- Económicas.
- Estéticas.
- Legales.

Actualmente existen las plantas exclusivas para el tratamiento de las aguas residuales, en cuyos procesos se encargan de reducir la carga de contaminantes existentes en el cauce cumpliendo con los estándares requeridos para la reinsertación de estas a los cuerpos de agua existentes.

## 2.5 RASTROS MUNICIPALES.

Los rastros municipales son instalaciones cuyas actividades se centran en la obtención de productos cárnicos y sus derivados (*Figura 2.2*). En el país se cuentan con establecimientos TIF y rastros municipales.



*Figura 2. 2. Actividades de obtención de productos cárnicos dentro de un rastro TIF. (Fideicomiso de Riesgo Compartido [FIRCO], 2016).*

Los Rastros Tipo Inspección Federal (*TIF*) cuentan con Certificación por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Órgano Administrativo Desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), que han cumplido con las más estrictas Normas Internacionales de Calidad e Higiene teniendo como finalidad abastecer a los consumidores de carnes de buena calidad y en óptimas condiciones sanitarias. Procuraduría Federal Del Consumidor (PROFECO, 2019).

Esta certificación trae consigo una serie de beneficios a la industria cárnica porque facilita la movilización de bienes de origen animal para consumo humano dentro del país. La certificación (*Figura 2.3.*) de los establecimientos tiene un mayor control de su producción y de sus residuos, puesto que varios de los desechos generados en rastros municipales no son aprovechados; en un rastro TIF suele aprovecharse dentro de su proceso de producción.



*Figura 2.3. Sello TIF, SAGARPA, México. Indicativo de óptima calidad higiénico-sanitaria con reconocimiento mundial usado en el sector pecuario. (Marsan, 2024)*

Por lo tanto, los residuos líquidos producidos en un centro de beneficio o matadero municipal son efluentes que contienen sangre, rumen, pelos, grasas, proteínas. La generación de vertidos de aguas residuales tiene una carga orgánica, DBO y de nutrientes media-alta (sangre) con un contenido importante de sólidos en suspensión (rumen), grasas y aceites, así como vertidos líquidos de la operación de escaldado y lavado de carcazas, limpieza de equipos e instalaciones. (Salas & Condorhuamán, 2008).

Por lo antes mencionado la calidad de las aguas residuales que emanan de los centros de beneficio municipal son de gran impacto contaminante puesto que su saturada carga contaminante impide la reinserción normal y natural del agua a su ciclo hidrológico. Tomando en cuenta que en el país se contabilizan 471 establecimientos TIF, de los cuales 140 cuentan con autorización por parte del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) para comercializar sus productos hacia otros países (Porcicultura, 2020), indicando con ello que a nivel municipal la producción y tratamiento de los residuos generados no cuentan con un tratamiento. Autores que han realizado análisis de estas aguas han obtenido la siguiente fuente de valores, (Tabla 2.1). En los datos presentados por investigaciones pretéritas se analizaron parámetros como lo son Demanda

Química de Oxígeno (*DQO*), *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*, *Nitrógeno Total Kjeldahl (TKN)*, del inglés *Total Suspended Solidos (TSS)* y *Fosforo total (PT)* en diferentes rastros con obtención de productos cárnicos de diferentes especies en algunos países. Los valores observados cuentan una elevada carga de contaminación de conformidad con normativa tan solo en los Estados Unidos Mexicanos.

*Tabla 2.1. Valores obtenidos tras análisis de aguas residuales de rastros municipales (Slaughterhouse wastewater (SWW)). Los datos reflejados se miden en mg/L.*

<b>Autor.</b>	<b>Lugar.</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>TKN</b>	<b>TSS</b>	<b>PT</b>
<b>Husam &amp; Nassar, (2019).</b>	Franja de Gaza. (Terneros)	4502,5±170	2350±100	154±12	3500±120	-
<b>Philipp et al., (2021).</b>	Berlín. (Bobinos)	4700	1900	300	1800	80
<b>Bazrafshan et al., (2012).</b>	Coagulación química y electrocoagulación. Iran. (Bobinos)	5817±473	25433±362	137±12	3247±845	-
<b>Bustillo et al., (2016).</b>	Ontario, Canadá. (Bobinos).	4221	1209	427	1164	50
<b>Castellanos et al., (2023).</b>	México. (Bobinos).	9718.50±1716.41	5955.38±2033.29	838.00±682.00	4530.25±1357.22	36.10±5.36

## 2.6 HUMEDALES CONSTRUIDOS.

La búsqueda de mejoras para generar un cambio considerable orientado al equilibrio y cuidado del medio ambiente está en constante aumento, muestra de ello las energías alternas y procesos de remediación o tratamiento como los humedales construidos que denotan la preocupación y la necesidad de cuidar los cuerpos de agua que se utilizan para abastecimiento y desecho de las aguas residuales de los diversos procesos productivos. Las aguas residuales de diversas fuentes, si no se tratan, representan un riesgo para la calidad del medio ambiente. El suelo, las aguas superficiales y subterráneas son receptores de aguas residuales sin tratar en muchas regiones del mundo, principalmente en países en desarrollo, (Zurita, 2023).

Los humedales construidos son un elemento que engloba en su proceso el tratamiento de agua residual de manera diferente a las plantas de tratamiento convencionales, puesto que, las ultimas generan un costo energético y económico además de la infraestructura destinada y el terreno a instaurar para su creación. Mientras tanto los humedales construidos son un sistema que a través de procesos físicos y químicos naturales logran generar buenos resultados al procesar aguas residuales que de ser ejecutado dicho proceso de manera correcta logra generar un adecuado procesamiento.

Los humedales construidos (*Figura 2.4*) reproducen de forma conducida, los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en las zonas húmedas naturales. La depuración de las aguas residuales tiene lugar al hacerlas circular a través de estas zonas húmedas, en las que se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos. (Salas, 2017).

Los humedales (CWs por sus siglas en inglés: Constructed Wetlands) se clasifican de acuerdo con su modo de operación como: de flujo superficial, de flujo horizontal, de flujo vertical descendente o de flujo vertical ascendente. Se han usado con éxito en el tratamiento de aguas residuales domésticas, urbanas, escorrentía de autopistas y aguas grises, productos ácidos del drenado de minas, residuos agrícolas, efluentes industriales, lixiviados de vertederos y efluentes del procesado de carnes. (Blumberg, 2020).

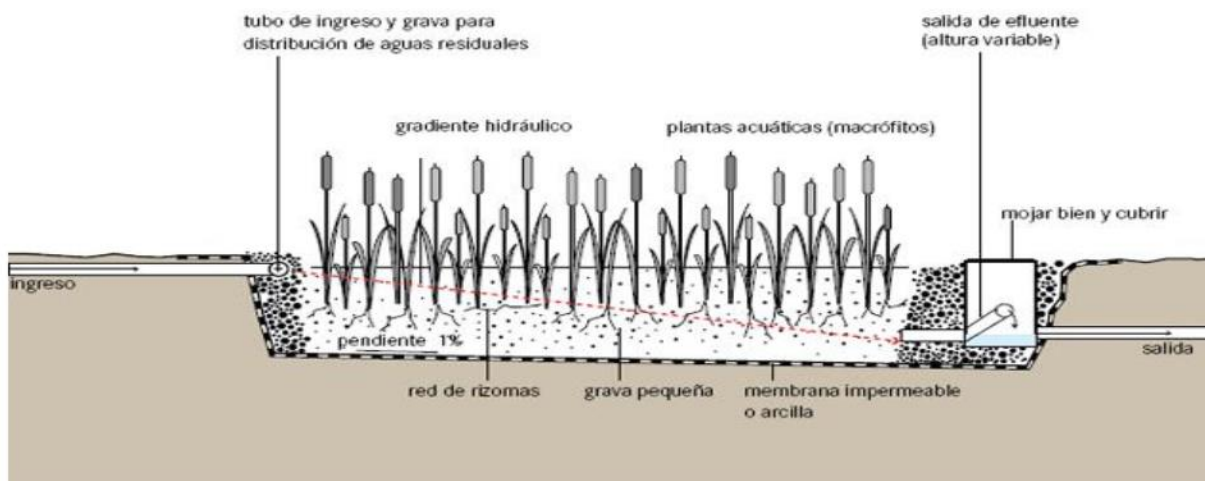


Figura 2.4. Diseño de un humedal construido subsuperficial de flujo horizontal. (Arce, 2018).

Dentro de la estructura de un humedal se encuentra el cultivo, la importancia de las plantas en los humedales construidos es la transferencia física en el sistema (las raíces, los tallos, y rizomas). Las plantas que frecuentemente se utilizan en la mayoría de los humedales para tratar aguas son las siguientes. (Figura 2.5)

Especie	Nombre latino	Nombre común más usual	Temperatura, °C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	<i>Carex sp.</i>	NA	14 - 32	NA	NA	5 - 7,5
	<i>Eleocharis sp.</i>	NA	NA	NA	NA	NA
	<i>Scirpus lacustris L. (*)</i>	Junco de laguna	18 - 27	NA	20	4 - 9
Gramíneas	<i>Glycera fluitans (L.) R. Br.</i>	Hierba del maná	NA	NA	NA	NA
	<i>Phragmites australis (Caw)</i>					
	<i>Trin. Ex Steudel (*)</i>	Carrizo	12 - 23	10 - 30	45	2 - 8
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo, espadaña fina	NA	NA	NA	NA
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos	16 - 26	NA	20	5 - 7,5
Tifáceas	<i>Thypha sp (*)</i>	Eneas, aneas, espadañas	10 - 30	12 - 24	30	4 - 10

Figura 2.5. Plantas emergentes más utilizadas en humedales artificiales. (Romero & Espinoza, 2014).

Los cultivos en los sistemas de humedales construidos aparte de su participación en la remoción o absorción de contaminantes se visualizan como producción de producto extra, al obtener de estos materia prima u flores ornamentales dependiendo del cultivo empleado, como lo plantea (Mateo et al., 2023) en su trabajo *Remediation of River Water Contaminated with Whey Using Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands with Ornamental Plants in a Tropical Environment*. En climas tropicales, existen numerosas especies vegetales que aún no se han evaluado. Si bien algunas de estas plantas se han evaluado para el tratamiento de aguas residuales, aún existe una abundancia de especies que aún no se han estudiado, especialmente en el contexto del tratamiento de ríos que se encuentran completamente contaminados.

## 2.7 NOPAL.

La planta de nopal (*Figura 2.6.*) pertenece al reino vegetal, a la familia *Cactaceae*, del género *Opuntia*, con más de 150 especies clasificadas como originarias de México, (Hernández et al., 2022). Entre ellas la de mayor importancia económica es *Opuntia ficus indica*, que se utiliza para el consumo humano y como forraje, (Mazri, (2021). Es una planta muy representativa en el país, tiene mayor reconocimiento en usos culinarios.



*Figura 2.6. Nopal Planta Opuntia ficusindica. (Monika, 2020).*

Se encuentra presente en diversas partes de la república mexicana, con una gran adaptación a los diferentes climas que en el país se presentan, logrando con lo anterior una capacidad de supervivencia óptima, principalmente en zonas áridas o semiáridas en las que la escasez de agua es muy marcada, lo anterior debido a la capacidad de absorción y retención.

Esta planta se compone de cladodios, son tallos modificados y reemplazan a las hojas en su función fotosintética. Son órganos suculentos y articulados con forma ovoide o alargada (30 a 80 cm de largo y 18 a 25 cm de ancho). Sáenz, et al. (2004). El nopal (*Opuntia spp.*) es un género de plantas originarias de las regiones tropicales y subtropicales del continente americano. Hoy en día, las plantas de nopal se cultivan en muchas partes del mundo debido a sus altos valores económicos, beneficios para la salud y múltiples usos.

Se han realizado investigaciones referentes a esta especie como el estudio de cultivar 4 especies de Nopal Mexicano en un sistema hidropónico, extraer y caracterizar el mucílago. La caracterización consiste en pH, °Brix, color, análisis proximal, fenoles, actividad antioxidante, cristalinidad y constituyentes de enlaces químicos. 'Villanueva' presentó altos niveles de fenoles (1,311.83 mg GAE g<sup>-1</sup>), capacidad antioxidante ABTS + (6,301.12 mg TE g<sup>-1</sup>) y FRAP (536.26 mg GAE g<sup>-1</sup>). Una gran cantidad de lípidos (1.39%), y extracto libre de nitrógeno (49.27%). Se identificaron los grupos funcionales del mucílago (-OH, -CH, -CH<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, C=C, HCH, -CHO) y yeso, celulosa, SiO<sub>2</sub> CaSO<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaCO<sub>3</sub> y CaH<sub>2</sub> por difracción de rayos X.

El sistema hidropónico es una alternativa viable para la producción de nopal y mucílago de alta calidad que puede ser utilizada en varios sectores de la industria. (Luna, et al. 2022).

Además, se ha realizado investigación referente al cultivo de hidroponía para este cultivo, en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Marín, NL México. Se sembró nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) cultivar 'Villanueva' a una densidad de 16 plantas m<sup>-2</sup>. El rendimiento total de nopal a los

56 días después de la plantación, con base en la producción de peso fresco y materia seca fue de 4.265 kg m<sup>-2</sup> y 0.2252 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente, mientras que la absorción total de nitrógeno en el mismo periodo fue de 4.36 kg m<sup>-2</sup>. (Almaguer et al., 2009).

Así mismo los efectos de las condiciones de cultivo, incluido el tamaño del cladodio madre, la concentración de fertilizante y la temperatura, sobre el crecimiento del cactus comestible *Nopalea cochenillifera*. en cultivo hidropónico el tamaño del cladodio madre se correlacionó positivamente con el crecimiento y desarrollo de los cladodios hijos. El peso fresco total de los cladodios hijos por cladodio madre fue mayor cuando se trataba de un cladodio madre grande. Se utilizaron, mientras que los cladodios madre pequeños produjeron menos cladodios hijos. (Horibe, 2019). Con la continuación reciente en la experimentación del cultivo en medio hidropónico los efectos de las condiciones de cultivo, como el pH de la solución nutritiva y la concentración de NaCl, en el crecimiento del cactus comestible *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyckand en hidroponía. Los resultados indicaron que el pH y la concentración de NaCl de la solución nutritiva tuvieron efectos significativos en el crecimiento y desarrollo de las ramas hijas. Por lo tanto, controlar las condiciones de cultivo es importante para mejorar la productividad y la calidad de los cactus comestibles en hidroponía. (Tsuchimoto et al., 2024).

Las experimentaciones indican que una de las especies a considerar es la *Opuntia cochenillifera* (Figura 2.7) que, como lo especifica (Fabela et al., 2022) la harina de *N. cochenillifera* tiene bajas calorías (337 kcal/100 g) con alto contenido de fibra dietética (18.41%). Además, exhibe buena capacidad de absorción de agua (11.04%) y aceite (2.05%), mientras que la capacidad de hinchamiento fue de 25 mL/g base seca (bs). El contenido de fenoles solubles y polifenoles hidrolizables fueron 207.92 y 647.99 mg EAG/100 g bs para esta especie.

En contraste, otras especies del género *Opuntia* permanecen subutilizadas, pero exhiben características ventajosas. El ejemplo prometedor es *Opuntia cochenillifera*, que además de compartir aspectos compositivos con especies más estudiadas del género, es resistente a los ataques de *D. Opuntiae*, lo que la

convierte en una alternativa valiosa para la exploración industrial y biotecnológica. (Monteiro et al., 2025).



*Figura 2.7. Opuntia cochenillifera. (Fuente propia).*

## **2.8 COLOCASIA ESCULENTA.**



*Figura 2.8. Cultivo de Colocasia esculenta, Hawaii County, HI, USA. (Juliakmil, 2021).*

El taro (*Colocasia esculenta*) es un cultivo de tubérculo tropical (*Figura 2.8*) producido principalmente por sus cormos subterráneos que contienen 70-80% de almidón. (Kaushal et al., 2015). Es una planta herbácea, perennifolia nativa de Papúa Nueva Guinea, pertenece a la familia Aráceas. Tiene un tubérculo subterráneo que alcanza un tamaño de 6 cm de diámetro sus hojas son peltadas, las

inflorescencias son axilares, son fragantes con aroma a frutas, mientras los frutos son bayas subglobosas a oblongas. Se distribuye en América desde el sur de los Estados Unidos de América hasta Sudamérica y Las Antillas, en México se encuentra en Nuevo León, Veracruz y Chiapas principalmente (*Figura 2.9*). También se distribuye en África y Oceanía. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso De La Biodiversidad (CONABIO. 2016).

Aparte de su función como alimento, esta planta se ha sometido a estudios como por ejemplo en su función en humedales para el tratamiento de aguas residuales de molinos de arroz.

Los resultados revelaron que *Colocasia esculenta* fue eficaz para reducir los sólidos suspendidos ( $34,5\% \pm 15,9$ ), DBO5 ( $53,0\% \pm 5,7$ ), DQO ( $50,3\% \pm 11,1$ ), nitrato ( $55,7\% \pm 13,5$ ) y fosfato ( $76,1\% \pm 20,5$ ) de las aguas residuales. Además de esto, el propio medio de cultivo redujo significativamente los sólidos suspendidos y disueltos a través de la sedimentación. (Balachandran et al., 2018)

También se realizaron pruebas en el tratamiento de aguas residuales domésticas con las especies *colocasia esculenta* "pituca" y *phragmites australis* "carrizo" en la que los resultados: La especie *Colocasia esculenta* (T1) logró porcentajes de remoción del 86,21% y 82,76% del parámetro TSS en los días 7 y 14 respectivamente; también, logró remover el 99,05% de Coliformes termo tolerantes en 7 días y 99,57% al día 14. Con la especie *Phragmites australis* (T2) el porcentaje de remoción de TSS al día 7 fue de 80,34% y al día 14 de 83,79%; mientras que la remoción del parámetro CTE al día 7 fue del 96,86% y al día 14 el 99,41%. (Medina, 2022).



*Figura 2.9. Colocasia esculenta encontrada en un canal de agua en el municipio de Tantoyuca., Ver. (Fuente propia).*

## **2.9 NORMATIVA VIGENTE.**

La calidad del agua se define como la capacidad con la que cuenta este recurso de mantener su forma química sin alteración por elementos presentes físicos y biológicos. A nivel internacional se cuenta con normativa que regula las cantidades de contaminantes presentes en el vital líquido para prevenir o evitar daños a la biodiversidad, principalmente a la población cuyos usos del agua son extremadamente extensos.

A nivel internacional se cuenta con normativa como los es:

**ISO** (Organización Internacional de Normalización): Es una federación mundial de organismos nacionales de normalización. (ISO, 2007). Dentro de este apartado se cuentan con una serie de normativas vigentes que se enfocan a la calidad, gestión y cuidado del agua. Siendo algunas como la norma **ISO 24510**, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual — Directrices para la evaluación y la mejora del servicio a los usuarios; **ISO 24511**, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual — Directrices

para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual y para la evaluación de los servicios de agua residual; **ISO 24512**, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual — Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de los servicios de agua potable. (ISO, 2007).

Como se especifica en la norma **ISO 14001** El logro de equilibrio entre el medio ambiente, la sociedad y la economía, se considera esencial para satisfacer las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades. (ISO, 2015). La presente norma enmarca las directrices para un marco de referencia que guie a las organizaciones para la protección del medio ambiente y establecer un equilibrio con las sociedades económicas.

**NOM** (Norma Oficial Mexicana) para la correcta regulación de parámetros del vital líquido en nuestro país, se cuenta con las normas oficiales mexicanas las cuales ayudan a mantener los límites máximos permisibles de contaminantes y parámetros que ayudan a la correcta calidad, manejo y distribución del recurso hídrico. Como lo es la **NOM-001-SEMARNAT-2021**, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación; **NOM-127-SSA1-2021**, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua; **NOM-003-ECOL-1997**, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. (DOF. 2022)

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Las ideas constituyen el primer acercamiento a la realidad objetiva (desde la perspectiva cuantitativa), a la realidad subjetiva (desde la aproximación cualitativa) o a la realidad intersubjetiva (desde la óptica mixta) que habrá de investigarse, (Hernández et al., 2014).

Ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimiento, por lo que la definición previa de investigación se aplica a los dos por igual. (Grinnell, 1997, citado por Hernández et al., 2014) señala que los dos enfoques (cuantitativo y cualitativo) utilizan cinco fases similares y relacionadas entre sí:

1. Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.
2. Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
3. Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
4. Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
5. Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas o incluso para generar otras.

Con lo anterior se plantea una investigación mixta puesto que la idea planteada busca resolver la problemática de producción de agua residual y la falta de su tratamiento. La experimentación plantea la implementación de un sistema natural de humedal a nivel mesocosmos para comprobar la capacidad de remoción de contaminantes con la especie *Opuntia Cochenillifera* en comparativa con la especie de referencia *Colocasia Esculenta* como se plantea en la (Figura 3.1).

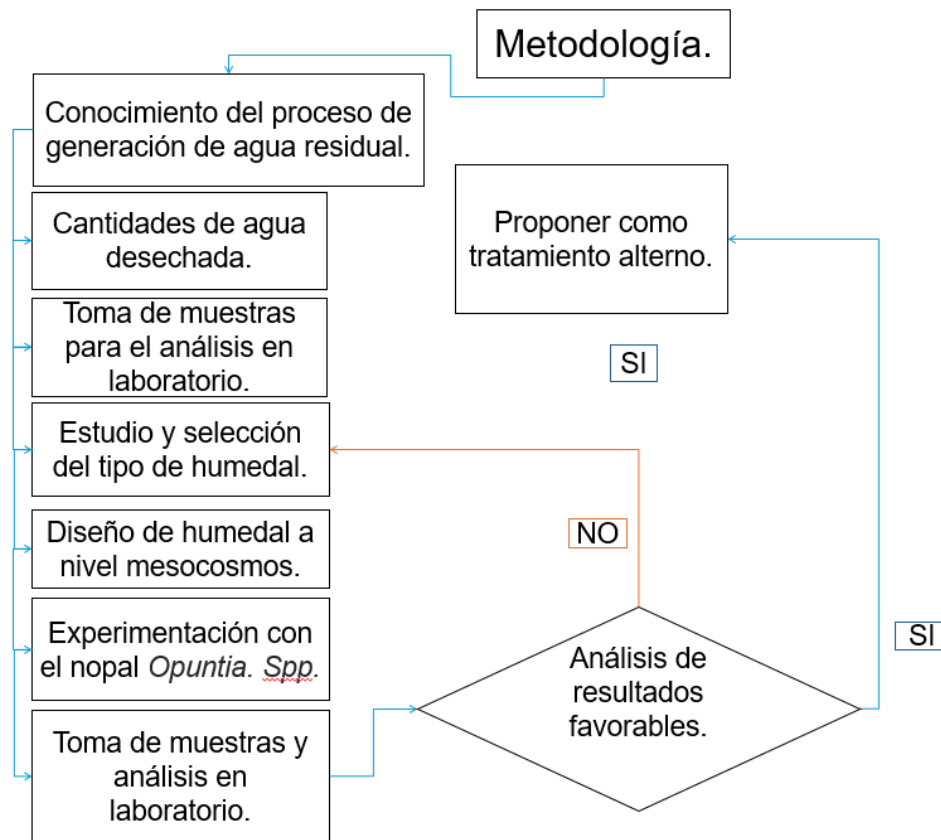


Figura 3.1. Metodología para el proceso de este proyecto.

### 3.2 OBJETO DE ESTUDIO.

El presente proyecto se desarrolla en el municipio de Tantoyuca, se ubica entre las coordenadas geográficas 21°06' y 21°40'N, y 97°59' y 98°24'O; altitud entre 10 y 300 m, precipitación media anual de 1,100 a 1,300 mm y un rango de temperatura media de 22 a 26°C, (Del Ángel et al., 2022). Como se aprecia en la (Figura 3.2), los municipios colindantes al norte del municipio son Ozuluama, Tempoal y Chontla; al sur con Ixcatepec, Chicontepec, Hidalgo, Chalma y Platón Sánchez; al este con Ixcatepec y Chontla.



### 3.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE HUMEDAL CONSTRUIDO.

Los cálculos se basan en la determinación con forme a la *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)*; estos se enfocan a una generación per cápita de agua residual de *937.5 L/ (Hab.-d)*, una población total de *32 Hab.-d* y una generación per cápita de *60 g DBO<sub>5</sub>-d* considerando un *Hab. equivalente* utilizado en la unión europea como valor estándar. (Vera, 2021).

Resumen de datos iniciales.

a) Caudal total del afluente.

$$Q_i = 32 \text{ Hab. } (937.5 \text{ Hab. } - d)(1\text{m}^3 / 1000\text{L}) = 30\text{m}^3$$

b) Carga másica del afluente.

$$M_i = 32 \text{ Hab. } (60 \text{ g Hab. } - d)(2/3) = 1280 \text{ g DBO}_5 d$$

c) Estimación de la concentración del afluente.

$$C_i = \frac{M_i}{Q_i} = \frac{1280 \text{ g DBO}_5 d}{30\text{m}^3} = 42.66 \text{ mg DBO}_5/L$$

*Cálculos por el modelo P-K-C\**

$$A = \frac{PQ_i}{k_A} \left[ \left( \frac{C_i - C^*}{C_o - C^*} \right)^{1/p} - 1 \right]$$

Donde:

*A= Área*

*P= Remoción realizada en pretratamiento*

*Q<sub>i</sub>= Caudal de agua desechada*

*k<sub>A</sub>= Coeficiente de reaccion superficial*

*C<sub>i</sub>= Concentracion de DBO5 inicial*

*C<sub>o</sub>= Concentracion de DBO5 final*

$C^*$ = *Concentración de fondo*

Cálculos del área requerida para el humedal de flujo subsuperficial horizontal.

$$A = \frac{(3)(10\,950\, m^3/año)}{25\, m/año} \left[ \left( \frac{42.66\, mg/L - 10\, mg/L}{30\, mg/L - 10\, mg/L} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$A = \frac{32\,850\, m^3/año}{25\, m/año} \left[ \left( \frac{32.66\, mg/L}{20\, mg/L} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$A = 1\,314\, m^2 [(1.633\, mg/L)^{1/3} - 1]$$

$$A = 1\,314\, m^2 [1.177]$$

$$A = 232.5\, m^2 \approx 233.0\, m^2$$

En función al área obtenida se determina la relación Largo/Ancho (2:1 – 2:4).

$$\text{Área} = L \times A$$

$$\frac{L}{A} = 3$$

$$L = 3A$$

$$A = \sqrt{\frac{233}{3}} = 8.81\, m$$

$$L = 3A = 3(8.81) = 26.43\, m$$

$$\text{Relación} \left( \frac{L}{A} \right) = 3$$

También se calculó el tamaño de una fosa séptica para su integración en el sistema, los cálculos parten a partir de un diseño planteado en el trabajo pozo séptico: Componentes, construcción y mantenimiento. (Villa, 2023).

El volumen de la primera cámara deberá ser igual a 2/3 partes del total del volumen. Por otro lado, la profundidad útil para la construcción de este sistema se especifica en la (Figura 3.4).

PROFUNDIDAD UTIL		
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
Hasta 6	1,2	2,2
De 6 a 10	1,5	2,5
Mas de 10	1,8	2,8

Figura 3.4. Profundidad recomendada con forme a los m<sup>3</sup> de agua. (Villa, 2023).

Contemplando un tiempo de retención de 18 horas la formula a emplear para determinar el volumen de cada parte receptora de las aguas:

$$V = \frac{Q \cdot TRH}{24 \text{ hrs.}}$$

Donde:

$V$ = Volumen.

$Q$ = Caudal del agua en m<sup>3</sup>.

$TRH$ = Taza de retención hidráulica.

Sustituyendo y resolviendo las operaciones queda de la siguiente manera:

$$V = \frac{(30m^3)(10hrs.)}{24 \text{ hrs.}} = 22.5m^3$$

La operación realizada presenta un espacio de 22.5 metros cúbicos para una cantidad de 30 m<sup>3</sup> de agua desechada en la primera cámara, en función a esto se determinan los valores requeridos de altura, ancho y largo de la cámara de tratamiento de la fosa séptica.

$$V = 2.8(A)(2A)$$

$$V = 5.6(A^2)$$

$$22.5m^3 = 5.6(A^2)$$

$$A^2 = \frac{22.5m^3}{5.6m^2} = 4$$

$$\sqrt{A^2} = \sqrt{4m^2}$$

$$A = 2m$$

Los valores resultantes al ser multiplicados en la fórmula para determinar el volumen de un rectángulo cubico se expresa de la siguiente manera:

$$V = (L)(A)(h)$$

Donde:

*V= Volumen total.*

*A= Ancho.*

*h= Altura*

Al sustituir los valores queda de la siguiente forma:

$$V = (5.6m)(2m)(2.8m)$$

$$V = 31.36 m^3$$

Del volumen total obtenido se realiza la partición para la separación del sistema, en el cual la primera cámara debe ser dos terceras partes del total del volumen (Villa, 2023). Quedando la operación siguiente:

$$V = \frac{31.36m^3}{3} = 10.45 m^3$$

$$V = (10 m^3)(2) = 20.9m^3$$

Para la obtención de los valores de largo alto y ancho de cada una de las cámaras de la fosa séptica se desglosa a continuación. Ya obtenido el volumen de la primera cámara la operación queda como:

$$V = (L)(A)(h)$$

$$L = \frac{V}{(A)(h)}$$

$$L = \frac{20.9m^3}{(2m)(2.8m)} = 3.73 m$$

$$V = (3.73m)(2m)(2.8m) = 20.88 m^3 \approx 20.9 m^3$$

Al obtener el volumen de la primera cámara en una resta se calcula que quedan  $10.46 m^3$  de espacio, la segunda cámara, conociendo su volumen, se calcula con la siguiente operación:

$$V = (L)(A)(h)$$

$$L = \frac{V}{(A)(h)}$$

$$L = \frac{10.46m^3}{(2m)(2.8m)} = 1.86 m$$

$$V = (1.86m)(2m)(2.8m) = 10.41 m^3 \approx 10.46 m^3$$

Los cálculos realizados son para la estimación de la infraestructura requerida para el sistema de tratamiento de las aguas residuales del rastro municipal de Tantoyuca, Ver. Denotando el tratamiento primario requerido (Fosa séptica) y el dimensionamiento de humedal requerido como sistema secundario.

### **3.4 ANÁLISIS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, TURBIDEZ Y COLOR.**

3.4.1. Se colectaron cuatro muestras, como lo estipula la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 en la que se especifica la cantidad de muestras a obtener y la periodicidad (*Figura 3.5*).

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre colecta de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	2	N. E.	N. E.
De 4 y hasta 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N. E. = No especificado

*Figura 3.5. Numero e intervalo de muestras simples. (DOF, 2022).*

3.4.2. Para el primer paso se procedió a la obtención de la muestra el 06-09-2024, en el lugar se determinó su temperatura y el PH a cada una de ellas. (Figura 3.6).



*Figura 3.6. Toma de muestra, obtención de temperatura y pH.*

3.4.3. Las muestras se trasladaron al laboratorio para su análisis. Los datos obtenidos se muestran en el apartado de resultados.

3.4.4. Se realizó análisis en el laboratorio con el equipo Spectroquant Move 100 (Figura 3.7) en el que se analizó sólidos en suspensión 50-750 mg/L, turbidez 1-100 FAU y color 25-1000 Pt/Co. Se procedió al análisis de las muestras con forme al manual que especifica el uso del dispositivo.



*Figura 3.7. Dispositivo para el análisis de las muestras obtenidas.*

### **3.5 SÓLIDOS SEDIMENTABLES.**

3.5.1. Se realizó bajo la norma NMX-AA-004-SCFI-2000, en la que se enmarca el procedimiento para el correcto análisis y determinación de dicho parámetro (*Figura 3.8*). Los materiales requeridos para este procedimiento fueron:

- Cono de sedimentación Imhoff
- base para conos
- agitador largo de vidrio



*Figura 3.8. Muestras y material utilizado en el análisis de sólidos sedimentables.*

3.5.2. Se tomaron cuatro muestras en total con un intervalo de tiempo de una hora entre cada una de ellas, comenzando con la toma de la primera muestra a las seis,

la segunda a las siete, ocho y nueve de la mañana respectivamente el *10 de septiembre 2024*.

3.5.3. Se vertió cada litro de muestra en su respectivo cono, dejando reposar la muestra por 45 minutos, una vez transcurrido el tiempo con la ayuda del agitador suavemente se despegaron partículas que se quedaron adheridas a las paredes del cono en la parte superior (*Figura 3.9*), una vez realizado se dejó reposar 15 minutos más. Se registraron los resultados.



*Figura 3.9. despegado de partículas adheridas a las paredes del cono Imhoff.*

### **3.6 EXPERIMENTACIÓN DE *OPUNTIA COCHENILLIFERA* Y LAS AGUAS RESIDUALES.**

El proceso experimental comenzó el 15 de octubre del 2024. Las plantas de *Opuntia Cochenillifera* presentaron características, como se detalla a continuación; dos de ellas presentaron tamaño de longitud de 30 a 35 cm y dos presentaron una medida inferior a 30 cm como se muestra en la (*Figura 3.10*) siguiente.



*Figura 3.10. Medidas y distribución porcentual de concentración de agua para cada planta presentada.*

Las de mayor tamaño, prueba 1 y 3, se sometieron a concentración de 25% y 100% respectivamente, las dos más pequeñas, prueba 2 y 4 a concentración de 50% y 100%, esta última con un periodo de sedimentación de 24 horas.

Se tomaron muestras de agua residual para darle la concentración requerida para el proceso de riego como se muestra en la (Figura 3.11) con ello se obtuvo un litro de agua con la concentración requerida, esto para lograr el volumen necesario antes comenzar los riegos pertinentes.



*Figura 3.11. Agua residual antes y después de diluir hasta obtener un litro de agua necesaria.*

Quedando distribuidas en los recipientes de la forma siguiente, (Figura 3.12). Cada recipiente contenía grava volcánica roja en un volumen de 30 cm dentro del recipiente, para el proceso de absorción de agua por capilaridad.



Figura 3.12. Plantas colocadas en el medio final para su riego periódico.

### 3.7 CREACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CON UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (MESOCOSMOS).

3.7.1. Se procedió a elaborar un sistema de tratamiento en el que se comparó el comportamiento del cultivo de *opuntia cochenillifera* y la *colocasia esculenta* siendo sometidas al riego con el agua residual, en un sistema con dos camas de tratamiento que fungieron como humedal construido de flujo subsuperficial horizontal en el que se establecieron seis plantas de cada especie en grava volcánica roja como medio filtrante como se aprecia (Figura 3.13).



*Figura 3.13. Se muestra las camas de tratamiento.*

Además de las camas de tratamiento, el sistema comienza con un tanque de almacenamiento de 100 000 mL con camas de tratamiento con volumen real de 110 000 mL y un caudal de  $500 \text{ mL s}^{-1}$  que se conectan a un par de contenedores que funcionan como trampa y grasas para reducir la turbulencia y velocidad del agua, esto también para retener sólidos que pudieran colmatar el medio filtrante de las camas de tratamiento como se muestra en la (Figura 3.14).



*Figura 3.14. sistema mesocosmos para el tratamiento experimental de aguas residuales antes de la plantación.*

El proceso experimental comenzó el *16 de enero 2025* con la inserción de los primeros 100 000 mL de agua residual en un proceso lento con el objetivo de mantener cinco días de retención de las aguas en la zona de filtración para que esta

se esparciera dentro del medio filtrante hasta tocar las raíces de las especies sembradas y diera lugar la acentuación de estas al entorno. Esto se mantuvo rellenando con el agua residual al tanque de almacenamiento. El nivel del espejo de agua se mantuvo en una altura de 25 cm de altura, la grava volcánica roja se mantuvo a una altura total de 30 cm, logrando así un flujo subsuperficial, en la zona de afluencia se colocó tubería en forma de "T" como en la zona de ingreso de las aguas, además se les colocó dos tubos verticales para proporcionar oxigenación, (Figura 3.15), los cuales también sirvieron para monitorear el nivel de las aguas presentes.



*Figura 3.15. contenedor que presenta la estructura de las tuberías de ingreso del agua y la zona de captación y oxigenación en la parte inferior derecha.*

Al final del sistema de tratamiento se colocó una llave de paso para permitir la salida controlada y para mantener el nivel del agua dentro del medio.

3.7.2. Para la determinación de la *DQO* y *SST* se tomaron muestras conforme a la norma NMX-AA-003-1980 aguas residuales muestreo. Las muestras se etiquetaron como:

- $T_0$  = Tratamiento cero (*Muestra sin tratamiento*)

- $T_1$ = Tratamiento uno (*Colocasia esculenta*)
- $T_2$ = Tratamiento dos (*Opuntia Cochenillifera*)

La muestra  $T_0$  se colecto en la zona de descarga del rastro municipal a las seis de la mañana, se utilizó equipo de protección personal, guantes de látex, lentes y zapatos cerrados.

El material utilizado fue el siguiente:

- 6 frascos de vidrio con 1 litro de capacidad
- 1 pipeta graduada de 1ml
- 1 propipeta
- 6 ml de ácido sulfúrico
- 1 cubeta de 19 litros

Se introdujo una cubeta limpia al agua residual y se llenó, dentro de este recipiente se colocó el termómetro y se revisó el pH, una vez realizado, se introdujo el recipiente cerrado en el agua residual y estando dentro se abrió para su llenado y se cerró, en el caso de la muestra para el análisis de *SST*; y de la misma manera se extrajo. Para el caso de la muestra que fue para el análisis de *DQO* se le añadieron dos mililitros de ácido sulfúrico, se cerró y se resguardo en una hielera.

Para la toma de las muestras  $T_1$  y  $T_2$  se realizó la apertura completa de la llave de salida de los sistemas de tratamiento, una vez realizado se abrió el primer recipiente y se colocó al flujo del agua, se desechó y se hizo nuevamente esta acción, ya una vez realizado el proceso se colocó el frasco y se llenó con el agua muestra, esta acción se realizó para las cuatro tomas restantes.

Se colocaron en la hielera los seis recipientes (*Figura 3.16*), esto debido a que se trasladaron al laboratorio para el análisis de dos parámetros, por ello la toma de dos muestras por tratamiento.



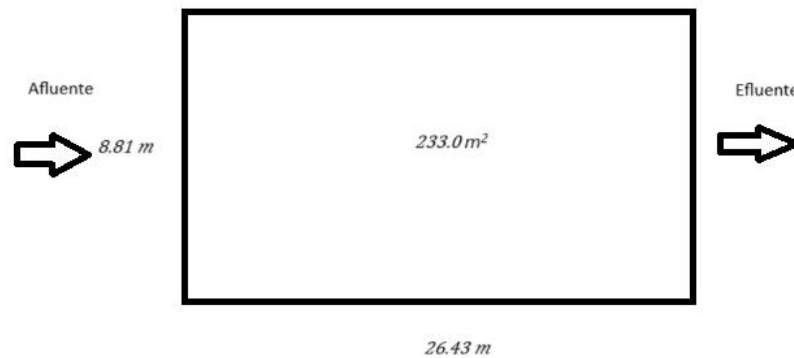
*Figura 3.16. Resguardo de muestras en hielera para su traslado.*

Las muestras fueron llevadas al laboratorio químico monitoreando la cantidad de frío presente en la hielera pues el día se tornó caluroso y el hielo se fundía más rápido. Se entregaron las muestras de conformidad con el protocolo normativo (*Anexo1*) al laboratorio SAS. Con dirección en Arenal 105, Asunción Avalos, 89416 Cd Madero, Tamaulipas, el cual está acreditado bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 en las ramas de aguas y residuos, aprobado por CONAGUA en la rama de agua. Monitoreando la cantidad de frío presente en la hielera pues el día se tornó caluroso y el hielo se fundía más rápido. Se entregaron las muestras de conformidad con el protocolo (*Anexo1*).

## CAPITULO IV RESULTADOS.

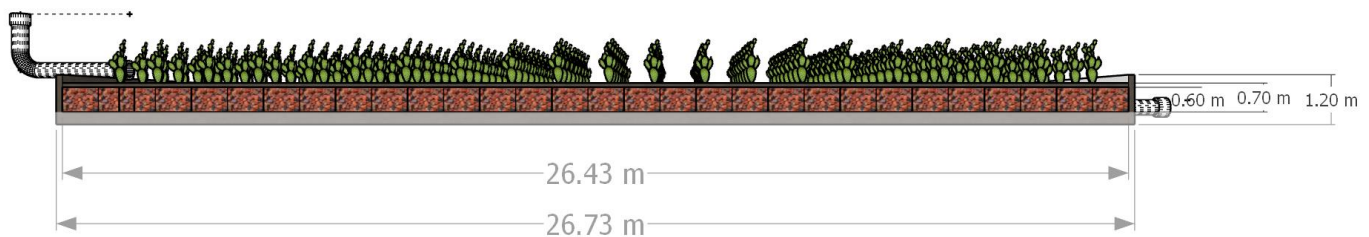
### 4.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE HUMEDAL CONSTRUIDO.

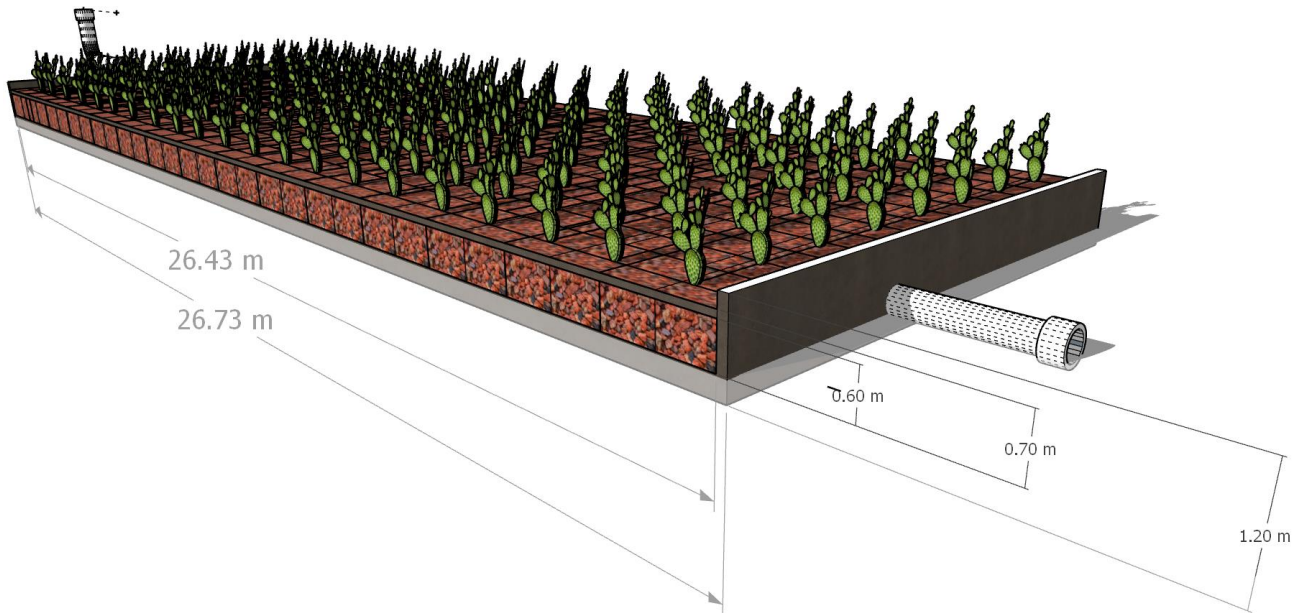
4.3.1. Con forme a los cálculos presentados se determinó un medio filtrante con las dimensiones que se aprecian a continuación, (*Figura 4.1*).



*Figura 4.1. Vista superior del área requerida para el humedal construido con base en los cálculos realizados.*

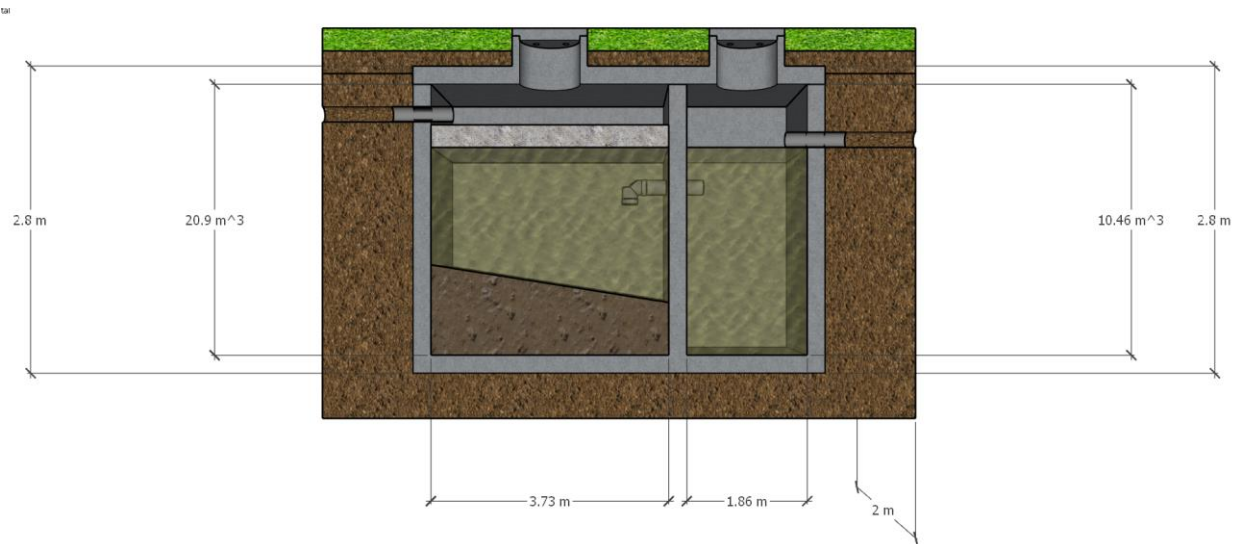
Además, se plantea un ejemplo preliminar de la cama filtrante donde se plantó el cultivo como se aprecia, (*Figura 4.2*), esto ya contemplando los sistemas de canalización de afluente y efluente.



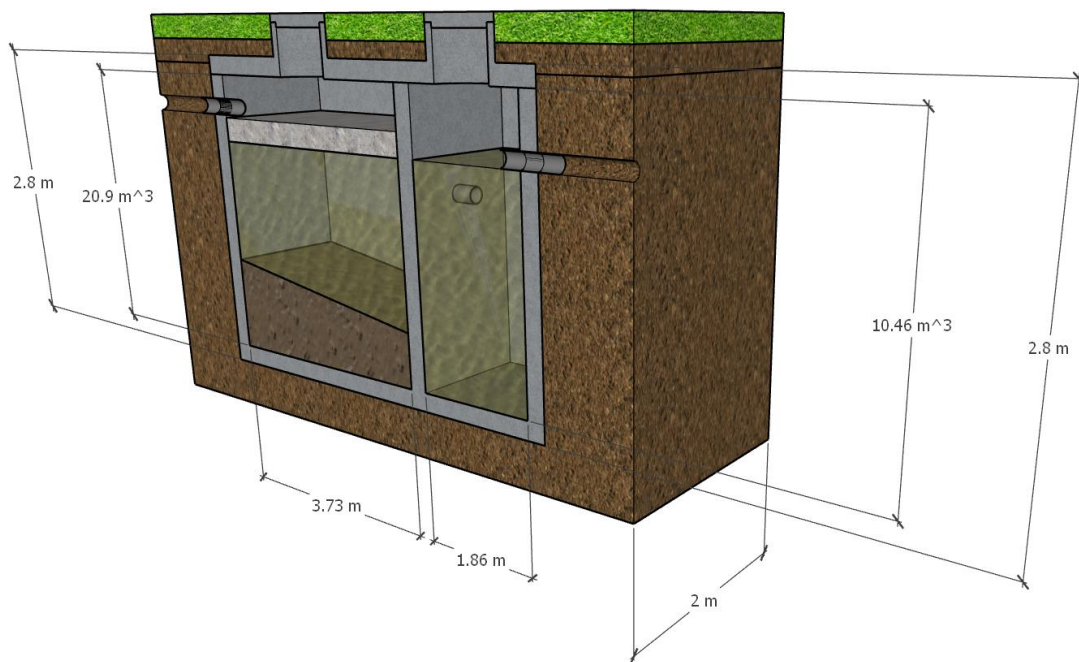


*Figura 4.2. Vista lateral e isométrica mostrando las diferentes alturas; espejo de agua con 0.50 m, la altura del medio filtrante con 0.60 m y los 0.70 m de altura total de la construcción del humedal.*

Dentro del sistema de humedal, se plantea una estructura para el pretratamiento de las aguas residuales, en este caso una fosa séptica, (*Figura 4.3*), esto para lograr reducir la carga de sólidos suspendidos que causarían la colmatación de las camas de tratamiento, impidiendo la filtración de las aguas y el crecimiento microbiano para la degradación de contaminantes orgánicos presentes.



*Figura 4.3. Vista lateral de la fosa séptica planteada.*



*Figura 4.4. Vista isométrica de la fosa séptica planteada y las medidas correspondientes.*

Dentro de este sistema se tiene por objeto la biodigestión de la carga orgánica contaminante, las de mayor tamaño especialmente, esto debido a la función primordial de separar con este tratamiento grasas que se quedan en suspensión las cuales no seguirán el flujo del agua debido a la disposición de las tuberías; y, por

otro lado, la materia contaminante grande y pesada la cual se decantara al fondo. Además, la fosa permite que el agua reduzca su turbulencia para llegar a las camas de tratamiento con una concentración menor de partículas que podrían sobresaturar la capacidad de filtración de la zona de cultivo e incluso tapar las salidas de las tuberías. El tamaño está calculado con forme a las cantidades de agua derivadas de los procesos del rastro municipal de Tantoyuca, (*Figura 4.4*) cabe señalar que algunas medidas podrían varias dependiendo de la calidad de los materiales a implementar al momento de su cimentación

#### 4.4. ANÁLISIS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, TURBIDEZ Y COLOR.

4.4.1. Los datos obtenidos en el muestreo y análisis con el equipo *Spectroquant Move 100* se muestran a continuación. Los valores obtenidos en el sitio se presentan en la siguiente (*Tabla 4.1*).

*Tabla 4.1. Valores obtenidos en cada una de las muestras tomadas con un intervalo de una hora.*

Muestra.	Temperatura. °C	pH.
M1	39	6-7
M2	38	6-7
M3	38	6-7
M4	38	6-7

4.4.2. Los resultados obtenidos con el dispositivo *Spectroquant Move 100* fueron negativos puesto que las muestras presentan concentraciones mayores a las que el dispositivo puede determinar. Como se muestra a continuación (*Figura 4.5*), los resultados fueron nulos para la determinación.



*Figura 4.5. Valores arrojados por el equipo al introducir las muestras para el análisis de Turbidez, solidos suspendidos y color.*

#### 4.5 SOLIDOS SEDIMENTABLES.

4.5.1. La (Tabla 4.2), presenta los valores de temperatura y el pH obtenidos en las muestras colectadas.

*Tabla 4.2. Valores obtenidos en cada una de las muestras tomadas.*

Muestra.	Temperatura. °C	pH.
M1	38	6-7
M2	38	6-7
M3	38	6-7
M4	38	6-7

4.5.2. El análisis dio comienzo a las 13:45 hrs. Y los resultados se plasman en la (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Valores obtenidos en cada una de las muestras analizadas.

Muestra.	NOM (mL/L)	Resultado (mL/L)
M1	1-2	4.5
M2	1-2	9.5
M3	1-2	6.5
M4	1-2	4.0

Los resultados indican una alta concentración de sólidos sedimentables en las aguas lo que plantea una alta concentración de contaminación orgánica, esto debido a lo que la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 especifica un límite de 1-2 ml/L. Lo obtenido en el análisis está muy elevado a lo que se determina en normativa, a simple vista en los conos se aprecia la elevada cantidad de materia contaminante (Figura 4.6).

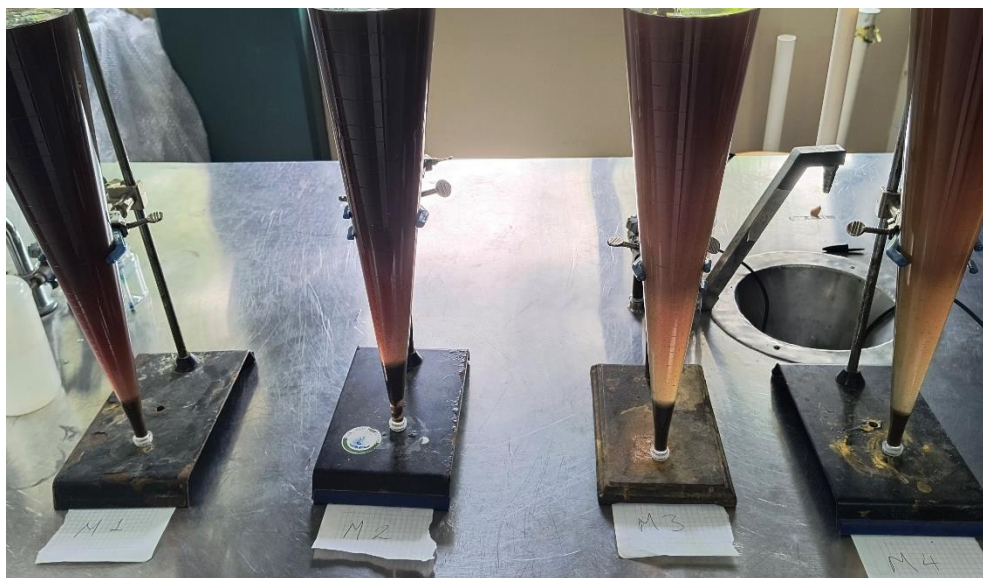


Figura 4.6. Apreciación de los sólidos sedimentables de las muestras analizadas.

#### 4.6 EXPERIMENTACIÓN DE *OPUNTIA COCHENILLIFERA* Y LAS AGUAS RESIDUALES.

En la revisión de las pruebas el *15 de enero 2024*, los resultados en este apartado fueron favorables (*Figura 4.7*), puesto que en un periodo de tres meses ninguna de las plantas expuestas pereció a las aguas residuales, regadas cada cinco días con un litro de agua, en especial las pruebas 1 y 4 regadas con una concentración del 25% y 100% 24 hrs., de agua residual ya que fueron de las primeras en mostrar aprovechamiento debido a que comenzó el crecimiento de cladodios.



*Figura 4.7. pruebas del crecimiento de cladodios en Opuntia Cochenillifera.*

#### 4.7 CREACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CON UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (MESOCOSMOS).

4.7.1. La adaptación del cultivo al sustrato empleado para su desarrollo y proceso de filtración de las aguas fue positiva. Tras la experimentación con el sistema mesocosmos, el cultivo de la *Colocasia esculenta* ( $T_1$ ) las primeras dos semanas presento hojas amarillentas (*Figura 4.8*), pasado este periodo comenzaron a emerger nuevas hojas.



Figura 4.8. *Colocasia esculenta* antes de sembrar. Especie sembrada y regada con agua residual al 26-feb.

por otro lado, *Opuntia cochenillifera* ( $T_2$ ) no presento decoloración en el cladodio que se dejó como saliente del sustrato (Figura 4.9). Para el segundo mes del trimestre se observó crecimiento de nuevos cladodios en cuatro de las plantas de la especie, mientras que la especie *Esculenta* seguía en crecimiento y desarrollo de hojas.



Figura 4.9. *Opuntia cochenillifera* antes de sembrar y después de sembrada al 26-feb

Para finales del mes de abril (*Figura 4.10*), se observó un reverdecimiento fuerte de las hojas de ( $T_1$ ). El ( $T_2$ ) presento aumento en el número de cladodios de cada individuo.



*Figura 4.10. desarrollo de  $T_1$  y  $T_2$ , en ambas se logra apreciar el desarrollo de nuevas hojas y cladodios respectivamente al 26-abr.*

Para finales del mes de mayo las especies muestran un buen desarrollo, el  $T_2$  por su parte presenta infestación de plaga como se aprecia en la (*Figura 4.11*) comparativa. Cabe señalar que la infestación apareció a finales del segundo mes.



*Figura 4.11.  $T_1$  mostrando el desarrollo de nuevas hojas en mayor abundancia y  $T_2$  con nuevos cladodios aun en crecimiento a pesar de presentar plaga al 26-may.*

4.7.2. En los resultados de los análisis de solidos suspendidos totales (SST) y Demanda química de oxígeno (DQO). Las muestras mostraron los siguientes valores. La temperatura y el pH obtenidos en las muestras colectadas (*Tabla 4.4*).

Tabla 4.4. Valores obtenidos en cada una de las muestras tomadas.

Muestra.	Temperatura. °C	pH.
DQO T0.1	38	6-7
SST T0.2	38	6-7
DQO T1.1	26	6-7
SST T1.2	26	6-7
DQO T2.1	26	6-7
SST T2.2	26	6-7

Las muestras colectadas presentaban una coloración diferente (Figura 4.12), el ( $T_1$ ) presento un color más claro mientras que en comparativa con la muestra del ( $T_2$ ) el color presente fue de un tono amarillento, mientras que el ( $T_0$ ) presento un color rojo oscuro.



Figura 4.12. Observación de las muestras y su variación en color.

Los resultados de los análisis del agua residual del rastro municipal (*Figura 4.13*). Cuyos parámetros analizados fueron la Demanda química de oxígeno (*DQO*) y los sólidos suspendidos totales (*SST*) sin ningún tratamiento ( $T_0$ ).

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO
Sólidos Suspendidos Totales	633	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
MPM DQO PMO	21841.0	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011

*Figura 4.13. Valores obtenidos del análisis de los parámetros en las aguas sin tratamiento.*

#### Anexo 2.

La concentración obtenida de la *DQO* fue de 21841 mg/L indicando un valor demasiado elevado a lo establecido a la norma (*Figura 4.14*), lo cual es de 180 mg/L para la descarga de aguas residuales diario en ríos, arroyos, canales o drenes. Los *SST* obtuvieron un valor de 633 cuando en normativa se estima un valor de 72 mg/L.

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas		
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140

*Figura 4.14. Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos en cuerpos receptores propiedad de la nación. (DOF, 2022).*

En contraparte los resultados obtenidos del agua tratada con *Colocasia esculenta* ( $T_1$ ) se muestran en la tabla siguiente (*Figura 4.15*).

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO
Sólidos Suspendidos Totales	< 10	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
MPM			
DQO	142.7	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
LECG			

*Figura 4.15. Resultado de los análisis de (T<sub>1</sub>). Anexo 3.*

Los valores obtenidos quedan dentro de tolerancia normativa para la descarga del agua en ríos arroyos, canales y drenes; dejando los valores muy elevados para el uso de agua para riego de áreas verdes. En contraparte los resultados del (T<sub>2</sub>) fue como se muestra en la (Figura 4.16).

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO
Sólidos Suspendidos Totales	16	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
MPM			
DQO	147.3	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
LECG			

*Figura 4.16. Resultado de los análisis de (T<sub>2</sub>). Anexo 4.*

Los SST en este tratamiento se encuentran dentro de tolerancia con respecto al apartado para descarga en ríos, arroyos, canales y drenes del promedio diario y la DQO presenta un valor dentro de lo solicitado por la normativa.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1 CONCLUSIONES

Los humedales construidos actualmente se perfilan como alternativa para ser implementada en nuestro país y así mejorar la calidad de las aguas desechadas de diversos procesos, la contaminación presente en los efluentes es el punto de partida para determinar el uso de este tipo de sistemas, puesto que de ello se deriva la implementación de humedales construidos de flujo superficial o de flujos vertical u horizontales subsuperficiales. La mayoría de los sistemas implementados en países europeos o incluso los pocos humedales construidos en algunos estados de nuestro país refieren a un sistema de tratamiento, implementando un pretratamiento y dejando las camas de humedales como tratamientos secundarios, esto debido a que es necesario reducir la carga másica de partículas disueltas en las aguas para evitar la colmatación del medio filtrante en los humedales construidos. Logrando de esta manera el equilibrado tratamiento, desarrollo de poblaciones bacterianas anaerobias absorbiendo o transformando compuestos y absorción o fijación de otros componentes por parte de los cultivos instaurados.

Con fundamento en lo anterior se logró una configuración sistemática del mesocosmos empleado para la experimentación con el agua residual del rastro municipal de Tantoyuca Veracruz. Partiendo además con la elaboración de un diseño fundamentado en cálculos muy utilizados para determinar los tamaños requeridos para la construcción cuyos orígenes parten de los experimentos realizados en Europa y aplicado en zonas donde la implementación de humedales construidos ya es más aceptada, uno de los investigadores ampliamente enfocado en este tema es (Vera, 2021) brindando charlas y exponiendo su trabajo al respecto.

Por otro lado, la experimentación con la *Opuntia Cochenillifera* sembrada en el medio filtrante (Grava volcánica roja) y regadas con agua residual en concentraciones del 25%, 50% y 100%; al igual la muestra de concentración del 100% reposada 24 hrs. Mostraron una respuesta positiva, cabe señalar que las

plantas que mostraron respuesta rápidamente fueron las pruebas 1 y 4 las cuales presentaron desarrollo en el segundo mes de siembra, las pruebas 2 y 3 de la misma manera presentaron desarrollo solo que estas tardaron un poco más, lo que se puede deducir que debido al tamaño de las raíces y el tamaño del espécimen se presentan como factores para la rápida respuesta en el sistema.

En el proceso de experimentación con los cultivos *Colocasia Esculenta* ( $T_1$ ) *Opuntia Cochenillifera* ( $T_2$ ) y se observó un adecuado desarrollo de los cultivos, en las primeras semanas el  $T_1$  presento una decaída en las hojas con las que contaba cada planta, pasando de un color amarillo a seco, sin embargo, para finales del tercer mes las plantas presentaban nuevas hojas y crecimiento, con hojas por salir como se muestra en la (Figura 4.11). En el caso de  $T_2$  para el segundo mes mostro crecimiento de cladodios en cuatro de los especímenes sembrados, confirmando que el tamaño de las raíces y de las plantas son factores por considerar al momento de sembrar, entre mas grande es el cladodio madre, al igual que las raíces, su desarrollo es más notorio. También se observó presencia de plaga en el  $T_2$  sin embargo la especie como lo plantea (Monteiro et al., 2025). Ha resultado resistente ante esta situación puesto que ya paso el cuarto mes y las plantas continúan con su desarrollo.

En cuanto al tratamiento del agua residual en el periodo de tres meses presento algunos inconvenientes, inicialmente fue el taponamiento de las tuberías de irrigación a las camas de tratamiento puesto que estas se vieron obstruidas por pequeños solidos presentes en el agua, entre desechos cárnicos, grasas, pasto sin digerir completamente residuo de las vísceras y pelo animal, por ello la implementación de los recipientes como se aprecia en la (Figura 3.14), para fungir como trampas de grasas y sedimentación, logrando con ello evitar el taponamiento en las tuberías, sin embargo al momento de rellenar el contenedor con el agua residual se generaba turbulencia en el fondo y se generaba solidos en suspensión que obstruían las salidas sin embargo esto fue mínimo ya que antes de llenar el recipiente se cerraba el flujo a los recipientes trampa y se esperaba una hora para su reapertura.

Las aguas que salían del  $T_1$ , presentaba un color entre traslucido y amarillento como se ve en la (Figura 4.12), en cambio el agua del  $T_2$  presentaba un color más amarillento, se puede inferir que el color deriva del exceso de hierro presente en sangre de los mamíferos la cual parece no ser procesada por completo dentro del sistema. Los resultados de los análisis de  $DQO$  y  $SST$  demuestran una reducción de estos como lo plantea el  $T_0$  los valores obtenidos son muy elevados de conformidad con la *NOM-001-SEMARNAT-2021* cabe recalcar que la remoción de contaminantes en el  $T_1$  fue de  $DQO$ : 65%;  $SST$ : 1.5% y del  $T_2$  de  $DQO$ : 67%;  $SST$ : 2.52%, cabe señalar que los valores obtenidos quedan dentro de tolerancia para la descarga de estas aguas con forme a la norma la cual estipula en un promedio diario los valores, sin embargo, para la reutilización del recurso hídrico para riego de áreas verdes como lo plantea la norma se debe de reducir aún más los valores de contaminantes presentes.

Para finalizar se comprueba que la hipótesis no se logró cumplir quedando en  $T_1$  con 65% y  $T_2$  con 67% de remoción, cabe señalar que el periodo de experimentación fue corto pese a que el agua residual es distinta en comparación con el proceso experimental de *colocasia esculenta* (Medina, 2022), para el tratamiento de aguas residuales domesticas en un periodo de 14 días en el que se reporta remoción del 80%, aun así, con los valores obtenidos se logra la reinserción de las aguas residuales a su ciclo hidrológico sin riesgo de eutrofización, puesto que la  $DQO$  desciende logrando así contrarrestar las zonas muertas carentes de oxígeno, de la misma manera la reducción de los  $SST$  permite decrecer la turbidez logrando el desarrollo adecuado de biodiversidad dentro de las aguas. Además, que el sistema de tratamiento impidió la proliferación de patógenos al ser un entorno controlado y la dispersión de malos olores solo aumentaron en el momento de insertar mas agua residual, sin embargo, los olores propagados por estas aguas fueron muy bajos en comparación con la ubicación del efluente.

## 5.2 RECOMENDACIONES.

Se debe realizar un proceso de investigación mas extenso puesto que para este trabajo el periodo experimental fue corto, los factores externos durante el proceso fueron en periodo de sequía, se debe indagar el comportamiento del tren de tratamiento y los cultivos en periodos de frio y lluvias. Además, se debe de monitorear parámetros como el nitrógeno tota, fosforo total, metales pesados y patógenos, esto para determinar en un periodo más largo la cantidad de estos; parámetros que también son parte importante para considerar dentro del monitoreo de las aguas residuales. Esto para determinar si, por ejemplo, el cultivo de opuntia cochenillifera logra la remoción y absorción de algunos de estos contaminantes.

También la investigación de este sistema en periodo de lluvias ayudara a pronosticar el comportamiento de este cultivo en un entorno así, ya que la falta de agua en el trimestre de investigación pudo ser determinante para la supervivencia de opuntia en un entorno hídrico. Así mismo se deberá monitorear el comportamiento del cultivo en presencia de plaga como la presentada en este proceso experimental, debido a que la presencia podría afectar la capacidad de crecimiento y remoción del cultivo durante un periodo más largo o incluso podría generar la pérdida del miso.

Se tendrá que experimentar el comportamiento del cultivo en un sistema de humedal construido subsuperficial de flujo vertical y la adecuación de este al sistema de tratamiento ya experimentado para observar si se puede mejorar la calidad de agua obtenida anteriormente.

Además, se recomienda analizar la composición nutrimental de los cladodios obtenidos durante un periodo más prolongado de cultivo para atender a la riqueza nutricional y así poder determinar si puede fungir como forraje de provecho para ganado, puesto que de antemano en esta experimentación se apreció resistencia y crecimiento de este cultivo a un entorno hídrico contaminado.

## REFERENCIAS.

- Almaguer et al., (2009). Almaguer-Sierra, P., Rodríguez-Fuentes, H., Vidales-Contreras, J.A., Valdez-Cepeda, R., Aranda-Ruíz, J., Rodríguez-Absi, J., López-Jiménez, M. and Rodríguez-Ortíz, J.C. (2009). BIOMASS ACCUMULATION IN OPUNTIA FICUS-INDICA (L.) MILL PLANTS GROWN IN A CLOSED HYDROPONIC SYSTEM. *Acta Hortic.* 843, 35-42. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.843.2 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.843.2>
- Arce, (2018). Paul Andréé Arce Cardona. Humedales Artificiales: Una alternativa para el tratamiento de aguas de producción. Fundación Universidad de América Facultad de Educación Permanente Y avanzada Especialización en Gestión Ambiental Bogotá D. C. [screenshot]. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- Balachandran et al., (2018). Balachandran, T. Nanthakumaran, A. Devaisy, S. and Sivanesan, K.S. Role of *Colocasia esculenta* in Constructed Wetlands for Treating Rice mill Wastewater. *Phyto remediation for waste water treatment. AGRIEAST* . Vol.12(2):19-26, 2018. Recuperado de <https://agrieast.sjoi.info/articles/10.4038/agrieast.v12i2.56>
- Bazrafshan et al., (2012). Bazrafshan E, Kord Mostafapour F, Farzadkia M, Ownagh KA, Mahvi AH (2012) Tratamiento de aguas residuales de mataderos mediante un proceso combinado de coagulación química y electrocoagulación. *PLoS ONE* 7(6): e40108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040108>
- Blumberg. (2020). Michael Blumberg. Blumberg Engineers. Ecotecnologías / Humedales artificiales. Ingenieurbüro Blumberg. Recuperado de <https://www.blumberg-engineers.com/es/ecotecnologias/humedales-artificiales/>
- Bustillo et al., (2016). Ciro Bustillo-Lecompte, Mehrab Mehrvar, Edgar Quiñones-Bolaños. Characterization and treatment of slaughterhouse wastewater: a public health and economic need for the meat processing industry in Ontario, Canada. publicado por *Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol.4 No.4, 2016. Recuperado de <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=66462>

- Castellanos et al., (2023). Castellanos- Rivera J., Marín-Peña O., Juárez-Reyes Z., Sandoval-Herazo M., Nani G., González-Moreno H., Sandoval L. Wastewater management from municipal slaughterhouses in Mexico: quantities produced, existing legislation, treatment processes applied and future challenges. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability (REB&S)*, Vol. 5, No. 2,12-23. Recuperado de <https://aldeser.org/journals/index.php/REBS/article/view/84/59>
- CONABIO (2016). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. CONABIO. Enciclovida. Malanga Colocasia sculenta. Recuperado de <https://enciclovida.mx/especies/156753-colocasia-esculenta>
- CONAGUA. (2020). Programa nacional hídrico. Comisión Nacional del Agua. Gobierno de México. [Screenshot]. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/553479/PNH\\_Resumen\\_Impronta\\_v200311.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/553479/PNH_Resumen_Impronta_v200311.pdf)
- CONAGUA. (2021). Programa nacional hídrico 2020-2024. Comisión Nacional del Agua. Avances y resultados. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/730640/AVANCE\\_Y\\_RESULTADO\\_S\\_PNH\\_FINAL\\_070622.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/730640/AVANCE_Y_RESULTADO_S_PNH_FINAL_070622.pdf)
- CONAHCYT. (2023). Día mundial del medio ambiente. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología. Recuperado de <https://conahcyt.mx/dia-mundial-del-medio-ambiente/>
- CONAHCYT. (2024). Pronace. Agua. Problemática. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología. Recuperado de <https://conahcyt.mx/pronaces/pronaces-agua/problematika-pronaces-agua/>
- Del Ángel et al., (2022). Maribel Del Ángel-Gerónimo, Claudio Vite-Cristóbal, Juan Manuel Pech-Canché, Eloísa Ortega-Vargas and Armando Arrieta-González. Diversidad Y Abundancia De Vegetación Nativa E Introducida En Pastizales De Tantoyuca, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, 118. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/362755857\\_DIVERSIDAD\\_Y\\_ABUNDANCIA\\_DE\\_VEGETACION\\_NATIVA\\_E\\_INTRODUCIDA\\_EN\\_PASTIZALES\\_DE\\_TANTOYUCA\\_VERACRUZ\\_MEXICO](https://www.researchgate.net/publication/362755857_DIVERSIDAD_Y_ABUNDANCIA_DE_VEGETACION_NATIVA_E_INTRODUCIDA_EN_PASTIZALES_DE_TANTOYUCA_VERACRUZ_MEXICO)

- DOF (2022). DOF. (2022). Diario Oficial De La Federación. Normas Oficiales Mexicanas. [Screenshot]. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022)
- DOF (2022). NOM-001-SEMARNAT-2021. Diario Oficial De La Federación. Normas Oficiales Mexicanas. [Screenshot]. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022)
- DOF. (2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Diario Oficial de la Federación. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0)
- DOF. (2022). Diario Oficial De La Federación. Normas Oficiales Mexicanas. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022)
- Fabela-Illescas, Héctor Enrique, Castro-Mendoza, Marisol Patricia, Montalvo-González, Efigenia, Anaya-Esparza, Luis Miguel, Vargas-Torres, Apolonio, Betanzos-Cabrera, Gabriel, & Hernández-Uribe, Juan Pablo. (2022). Bioactive compounds identification and physicochemical characterization from *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck cladodes flour. *Biotecnia*, 24(1), 46-54. Epub 13 de junio de 2022. Recuperado de <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1519>
- FIRCO. (2016). ¿Sabes que es un Rastro Tipo Inspección Federal? [screenshot]. Fideicomiso de Riesgo Compartido. Recuperado de <https://www.gob.mx/firco/articulos/sabes-que-es-un-rastro-tipo-inspeccion-federal?idiom=es>
- Google maps, (2025). Rastro municipal de Tantoyuca Veracruz. [screenshot]. Recuperado de [https://www.google.com/maps/place/Rastro+Municipal+Tantoyuca/@21.3411604,-98.2172512,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x85d71423ea4290f3:0xd90f970b71fb07c2!8m2!3d21.3411604!4d-98.2146763!16s%2Fg%2F12lt6p\\_dz?hl=es&entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MDYxMS4wLjIxMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/Rastro+Municipal+Tantoyuca/@21.3411604,-98.2172512,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x85d71423ea4290f3:0xd90f970b71fb07c2!8m2!3d21.3411604!4d-98.2146763!16s%2Fg%2F12lt6p_dz?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYxMS4wLjIxMDSoASAFQAw%3D%3D)
- Grinnell, 1997, citado por Hernández et al., (2014). Metodología De La investigación. Derechos Reservados 2014. Sexta edición por McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Edificio Punta Santa Fe Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A Piso 17. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736. Recuperado de

[https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

Guadarrama et al., (2016). Guadarrama-Tejas, R., Kido Miranda, J., Roldan-Antúnez, G., Salas-Salgado, M., Mata-García, M., & Vázquez-Briones. Contaminación del agua. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Recuperado de [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol2num5/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V2\\_N5\\_1.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf)

Hernández et al., (2014). Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, María del Pilar Baptista Lucio. Metodología De La investigación. Derechos Reservados 2014. Sexta edición por McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Edificio Punta Santa Fe Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A Piso 17. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736. Recuperado de [https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

Hernández et al., (2022). Ezequiel Hernández-Becerra, María de los Ángeles, Aguilera-Barreiro, Margarita Contreras-Padilla, Esther Pérez-Torrero, Mario E. Rodríguez-García. Cladodios de nopal (Opuntia Ficus Indica): Propiedades nutricionales y potencial funcional. Revista de alimentos funcionales. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464622002535#b0350>

Horibe, (2019). Hidroponía de cactus comestibles (Nopalea cochenillifera): efecto del tamaño del cladodio, la concentración de fertilizantes y la temperatura de cultivo en el crecimiento y desarrollo de los cladodios hijos, Environmental Control in Biology, 2019, Volumen 57, Número 3, Páginas 69-74, Publicado en J-STAGE el 24 de julio de 2019, ISSN en línea 1883-0986, ISSN impreso 1880-554X. Recuperado de <https://doi.org/10.2525/ecb.57.69>

Husam & Nassar, (2019). Al-Najar Husam, Abdelmajed Nassar. Características de las aguas residuales de los mataderos en la Franja de Gaza ". Journal of Water Resource and Protection, vol. 11, n.º 7, 2019. Recuperado de <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=93782>

IAGUA. (2018). En México, solo el 57% de las aguas residuales son tratadas correctamente. Club iAgua (web site). Recuperado de

<https://www.iaqua.es/noticias/unam/investigadores-unam-senalan-necesidad-tratar-aguas-residuales-mexico>

- IMCO. (2023). Instituto Mexicano para la Competitividad. Situación del agua en México. [screenshot]. Recuperado de <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>
- INEGI. (2010). Instituto nacional de estadística y geografía. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave clave geoestadística 30155. [screenshot]. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/30/30155.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30155.pdf)
- ISO. (2007). Organización Mundial de Normalización. ISO 24510:2007 Activities relating to drinking water and wastewater services — Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24510:ed-1:v1:es>
- ISO. (2015). Organización Mundial de Normalización. ISO 14001:2015(es) Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- Juliakmil. (2021). Cultivo de Colocasia esculenta, Hawaii County, HI, USA. InaturalistMX. [screenshot]. Recuperado de <https://mexico.inaturalist.org/observations/103231867>
- Kaushal et al., (2015). Kaushal, P. Kumar, V. y Sharma, HK. Utilización de taro (*Colocasia esculenta*): una revisión. *J Food Sci Technol* **52**, 27–40 (2015). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0933-y>
- Lecaros & Viale (2008). Guillermo Lecaros & Alan Viale Estremadoyro. Calidad de agua continental. Manual de Estadísticas Ambientales Andinas. Realidades S.A. p. 31-45. Recuperado de [https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual\\_estadisticas\\_ambientales.pdf](https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf)
- Luna et al., (2022). LUNA-SOSA, B., MARTINEZ-AVILA, GC, RODRIGUEZ-FUENTES, H., PASTRANA, LM, AZEVEDO, AG, GONZALEZ-SANDOVAL, DC, CERQUEIRA, MA, & ROJAS, R. (2022). Extracción y caracterización de mucílago de *Opuntia ficus-indica* cultivada en sistema hidropónico. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* , 50 (1), 12460. <https://doi.org/10.15835/nbha50112460>
- Marín et al., (2024). Oscar Marín-Peña; Alejandro Alvarado-Lassman; Andrea Alvarado-Vallejo; Mayerlin Sandoval-Herazo; Denisse A. Hernández-Castelán; Sergio Aurelio

- Zamora Castro; Luis Carlos Sandoval Herazo. Evaluación de un reactor anaeróbico de biofilm a escala piloto para el tratamiento de efluentes de mataderos en zonas rurales. Recuperado de <https://iwaponline.com/wpt/article/doi/10.2166/wpt.2024.234/104687>
- Marsan (2024). Marsan Eduardo. Qué es y para qué sirve el Sello TIF en la industria ganadera al comprar carne. [screenshot]. Infobae. Recuperado de [https://www.infobae.com/mexico/2024/06/22/que-es-y-para-que-sirve-el-sello-tif-en-la-industria-ganadera-al-comprar-carne/#:~:text=El%20Sello%20TIF%20\(Tipo%20Inspecci%C3%B3n,y%20reconocimiento%20a%20nivel%20mundial](https://www.infobae.com/mexico/2024/06/22/que-es-y-para-que-sirve-el-sello-tif-en-la-industria-ganadera-al-comprar-carne/#:~:text=El%20Sello%20TIF%20(Tipo%20Inspecci%C3%B3n,y%20reconocimiento%20a%20nivel%20mundial).
- Mateo et al., (2023). Nicolás Francisco Mateo Díaz, Luis Carlos Sandoval Herazo, Florentina Zurita, Mayerlin Sandoval-Herazo, Graciela Nani, Eduardo Fernández-Echeverría, Gregorio Fernández-Lambert, Georgina Martínez-Reséndiz. Remediation of River Water Contaminated with Whey Using Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands with Ornamental Plants in a Tropical. MDPI. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/w15193456>
- Mazri, (2021). Nopal (*Opuntia* spp.) Especies y cultivares. En: Ramadan, MF, Ayoub, TEM, Rohn, S. (eds) *Opuntia* spp.: Química, bioactividad y aplicaciones industriales. Springer, Cham. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_4)
- Medina, (2022). Medina Felix, Luis Jose Carlos. Tratamiento de aguas residuales domésticas con las especies colocasia esculenta “pituca” y phragmites australis “carrizo” en el centro poblado Huayán-Huaral. Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión. Recuperado de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7208#:~:text=Resultados:%20La%20especie%20Colocasia%20esculenta,Uso%20de%20agua%20para%20rieg>o.
- Monika. (2020). Nopal Planta *Opuntia ficus indica*. SFC Plant Wiki. [screenshot]. Recuperado de <https://wikiplanta.org/books/wiki-de-plantas/page/nopal>
- Monteiro et al., (2025). Shênia Santos Monteiro, Joao Vitor Souto de Araujo Queiroz, Henrique Mautone Gomes, Lucas Santos, José Cláudio Fonseca Moreira, Daniel Pens Gelain, Marcus Vinícius Lia Fook, Hugo Miguel Lisboa, Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali. Characterization of mucilage from *Opuntia cochenillifera* cladodes: Rheological behavior, cytotoxicity, and antioxidant potential, Colloids and

- Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Volume 707. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135824>.
- Monteiro et al., (2025). Shênia Santos Monteiro, Joao Vitor Souto de Araujo Queiroz, Henrique Mautone Gomes, Lucas Santos, José Cláudio Fonseca Moreira, Daniel Pens Gelain, Marcus Vinícius Lia Fook, Hugo Miguel Lisboa, Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali. Characterization of mucilage from *Opuntia cochenillifera* cladodes: Rheological behavior, cytotoxicity, and antioxidant potential, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Volume 707. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135824>.
- Palacios et al., (2022). Palacios A; Ítalo del C; & Moreno Castro. Contaminación ambiental. *RECIMUNDO* Vol. 6 Núm. 2 (2022): Abril – junio. Recuperado de <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/1545>
- Peña et al., (2013). Peña M; Ducci J; Zamora V. Tratamiento de aguas residuales en México. Recuperado de <https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Tratamiento-de-aguas-residuales-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Philipp et al., (2021). Maximilian Philipp, Khaoula Masmoudi Jabri, Johannes Wellmann, Hanene Akrouf, Latifa Bousselmi & Sven-Uwe Geißen. Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Review on Recycling and Reuse Possibilities. *Water* 2021, 13(22), 3175. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/22/3175>
- Porcicultura. (2020). Con 471 plantas TIF, México incrementó 9.5% la producción cárnica en este tipo de establecimientos. *Porcicultura.com*. Porcicultura sustentable. Recuperado de <https://www.porcicultura.com/destacado/con-471-plantas-tif-mexico-incremento-95-la-produccion-carnica-en-este-tipo-de-establecimientos>
- PROFECO. (2019). Certificación TIF. Procuraduría Federal Del Consumidor. Recuperado de <https://www.gob.mx/profeco/articulos/certificacion-tif#:~:text=La%20certificaci%C3%B3n%20tipo%20Inspecci%C3%B3n%20Federal,M%C3%A9xico%2C%20se%20les%20da%20esta>
- Romero & Espinoza, (2014). Romero Rojas Jairo Alberto, Espinoza Ortiz Camilo Eduardo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. *Revista de la escuela colombiana de ingeniería*, N.º 94. Recuperado de

- <https://repositorio.escuelainq.edu.co/entities/publication/192f5f7e-d7af-4663-97b6-c4425d766d2c>
- Sáenz, et al. (2004). Sáenz, C; Sepúlveda E; Matsuhiro B. Mucilagos de Opuntia spp: un componente funcional con perspectivas industriales. ELSEVIER. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014019630300106X>
- Salas & Condorhuamán. (2008). Tratamiento de aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú. Revista peruana de química e ingeniería química, 11(1), 2935. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4885>
- Salas, (2017). Juan José Salas Rodríguez. Humedales artificiales: Diseño y construcción. EPSAR Entidad de Saneamiento de Aguas. Recuperado de <https://www.epsar.gva.es/sites/default/files/2018-07/Humedales%20artificiales.%20Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20%283%2C99MB%29.pdf>
- SE. (2010). NMX-AA-089/2-SCFI-2010 PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CALIDAD DEL AGUA VOCABULARIO - PARTE 2 (CANCELA A LA NOM-AA-89/2-1992). Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166801/NMX-AA-089-2-SCFI-2010.pdf>
- SECOFI. (1980). NORMA MEXICANA NMX-AA-003-1980 AGUAS RESIDUALES. - MUESTREO. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf>
- SEMARNAT. (2016). Súmate al reciclaje. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sumate-al-reciclaje>
- SEMARNAT. (2024). Gestión de recursos hídricos. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Screenshot]. Recuperado de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores\\_ilac18/indicadores/02\\_gestion/2.4.1.1.htm](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_ilac18/indicadores/02_gestion/2.4.1.1.htm)
- SEMARNAT. (2024). Gestión de recursos hídricos. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores\\_ilac18/indicadores/02\\_gestion/2.4.1.1.htm](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_ilac18/indicadores/02_gestion/2.4.1.1.htm)
- SENASICA. (2025). Directorio de Establecimientos TIF. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria | 23 de junio de 2025. Recuperado de

<https://www.gob.mx/senasica/documentos/directorio-de-establecimientos-tif-del-25-de-marzo-de-2022>

- SUSMAI. (2018). Agenda Ambiental 2018 Diagnóstico y Propuestas. Seminario universitario, de sociedad, medio ambiente e instituciones. Recuperado de <https://agendaambiental2018.susmai.unam.mx/index.php/project/agua/>
- Triana L. E. S. (2007). Estudio De Antecedentes Sobre La Contaminación Hídrica En Colombia. Escuela Superior De Administración Pública ESAP Facultad De Pregrado Programa En Ciencias Políticas y Administrativas Bogotá D.C. Recuperado de [https://www.academia.edu/29770726/ESTUDIO DE ANTECEDENTES SOBRE LA CONTAMINACION HÍDRICA EN COLOMBIA](https://www.academia.edu/29770726/ESTUDIO_DE_ANTECEDENTES SOBRE LA CONTAMINACION HÍDRICA EN COLOMBIA)
- Tsuchimoto, S., Okada, K., Kondo, K. y Horibe, T. (2024). Efectos de los factores ambientales de cultivo en el crecimiento del cactus comestible ( Nopalea cochenillifera ) cultivado en condiciones hidropónicas. Acta Hort. 1404, 1423-1430. DOI: 10.17660/ActaHortic.2024.1404.198. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1404.198>
- Vera, (2021). Vera Puerto Ismael Leonardo. *Diseño y cálculos humedal construido subsuperficial*. CAREP Costa Valdiviana. [Video]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=JoGaQxEck5Y&t=3262s>
- Vera, (2021). Vera Puerto Ismael Leonardo. *Diseño y cálculos humedal construido subsuperficial*. CAREP Costa Valdiviana. [Video]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=JoGaQxEck5Y&t=3262s>
- Villa, (2023). *POZO SEPTICO: Componentes, construcción y mantenimiento*. Control de Obras y Presupuestos en Construcción. [Video]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=pVvfAHZw8jw>
- Villa, (2023). *Pozo séptico: Componentes, construcción y mantenimiento*. Control de Obras y Presupuestos en Construcción. [Screenshot]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=pVvfAHZw8jw>
- Zurita, (2023). Humedales construidos y tratamiento de aguas residuales para la mejora de la calidad ambiental. MDPI. Recuperado de [https://www.mdpi.com/journal/water/special\\_issues/830L48SUUE](https://www.mdpi.com/journal/water/special_issues/830L48SUUE)



2.



LABORATORIO SAS S.A. DE C.V.  
**REPORTE ANALÍTICO**  
 ÁREA ANALÍTICA  
 PARAMETROS PARTICULARES EN AGUA

**Fabio Jhossef Hernandez Alejo**  
**Fabio Jhossef Hernandez Alejo**  
**C Montes Urales S/N Col. Azteca**  
**Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave**  
**789-109-97-66**

<b>Fecha de muestreo</b>	2025-04-14	<b>Fecha de recepción</b>	2025-04-14	<b>Inicio análisis</b>	2025-04-15	<b>Fecha de informe</b>	2025-04-21
<b>Hora de muestreo</b>	06h 00min	<b>Hora de recepción</b>	13h 13min	<b>Término análisis</b>	2025-04-18	<b>Hora de informe</b>	11h 03min

**Folio Muestra: 250414010002 | 001380**

Número de Informe: A-1147

<b>Empresa</b>	Fabio Jhossef Hernandez Alejo	<b>Lugar de muestreo</b>	Rastro Municipal	<b>Dirección</b>	Tantoyuca, Veracruz
<b>Loc. satelital</b>	No proporcionado por el cliente	<b>Matriz</b>	Agua Residual	<b>Id. de la muestra</b>	Rastro
<b>Cantidad</b>	2 litros	<b>No. de recipiente</b>	2 recipientes	<b>Muestreo realizado por</b>	Cliente
<b>Bajo la norma</b>	No proporcionada por el cliente	<b>Subcategoría</b>	AR		

**Observaciones** Se reciben 2 frascos de vidrio, color del líquido oscuro con partículas suspendidas como tierra. Muestra recepcionada y analizada bajo condiciones de entrega en recepción.

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO
Sólidos Suspendidos Totales	633	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
MPM			
DQO	21841.0	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
PMO			

Superíndice:

<sup>0</sup> Prueba no acreditable.

<sup>1</sup> Prueba no acreditada.

<sup>2</sup> Análisis realizado por subcontratación.

<sup>3</sup> Análisis realizado por contratación.

<sup>4</sup> Dato proporcionado por el cliente.

<sup>5</sup> Prueba acreditada en agua.

<sup>a</sup> Medición directa realizada al momento de colecta de muestra.

<sup>b</sup> Medición directa realizada en tiempo posterior a la toma de muestra.

3.



LABORATORIO SAS S.A. DE C.V.  
**REPORTE ANALÍTICO**  
 ÁREA ANALÍTICA  
 PARAMETROS PARTICULARES EN AGUA

**Fabio Jhossef Hernandez Alejo**  
**Fabio Jhossef Hernandez Alejo**  
**C Montes Urales S/N Col. Azteca**  
**Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave**  
**789-109-97-66**

<b>Fecha de muestreo</b>	2025-04-14	<b>Fecha de recepción</b>	2025-04-14	<b>Inicio análisis</b>	2025-04-15	<b>Fecha de informe</b>	2025-04-21
<b>Hora de muestreo</b>	06h 00min	<b>Hora de recepción</b>	13h 13min	<b>Término análisis</b>	2025-04-18	<b>Hora de informe</b>	11h 03min

**Folio Muestra: 250414010002 | 001381**

Número de Informe: A-1148

<b>Empresa</b>	Fabio Jhossef Hernandez Alejo	<b>Lugar de muestreo</b>	Área de tratamiento	<b>Dirección</b>	Tantoyuca, Veracruz
<b>Loc. satelital</b>	No proporcionado por el cliente	<b>Matriz</b>	Agua tratada	<b>Id. de la muestra</b>	Tratamiento 1
<b>Cantidad</b>	2 litros	<b>No. de recipiente</b>	2 recipientes	<b>Muestreo realizado por</b>	Cliente
<b>Bajo la norma</b>	No proporcionada por el cliente	<b>Subcategoría</b>	AR		

**Observaciones** Se reciben 2 frascos con agua color amarillento con partículas y tierra. Muestra recepcionada y analizada bajo condiciones de entrega en recepción.

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO
Sólidos Suspendidos Totales	< 10	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
MPM			
DQO	142.7	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
LECG			

Superíndice:

<sup>0</sup> Prueba no acreditable.

<sup>1</sup> Prueba no acreditada.

<sup>2</sup> Análisis realizado por subcontratación.

<sup>3</sup> Análisis realizado por contratación.

<sup>4</sup> Dato proporcionado por el cliente.

<sup>5</sup> Prueba acreditada en agua.

<sup>a</sup> Medición directa realizada al momento de colecta de muestra.

<sup>b</sup> Medición directa realizada en tiempo posterior a la toma de muestra.

4.



LABORATORIO SAS S.A. DE C.V.  
**REPORTE ANALÍTICO**  
 ÁREA ANALÍTICA  
 PARAMETROS PARTICULARES EN AGUA

**Fabio Jhossef Hernandez Alejo**  
**Fabio Jhossef Hernandez Alejo**  
**C Montes Urales S/N Col. Azteca**  
**Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave**  
**789-109-97-66**

<b>Fecha de muestreo</b>	2025-04-14	<b>Fecha de recepción</b>	2025-04-14	<b>Inicio análisis</b>	2025-04-15	<b>Fecha de informe</b>	2025-04-21
<b>Hora de muestreo</b>	06h 00min	<b>Hora de recepción</b>	13h 13min	<b>Término análisis</b>	2025-04-18	<b>Hora de informe</b>	11h 03min

**Folio Muestra: 250414010002 | 001382**

Número de Informe: A-1149

<b>Empresa</b>	Fabio Jhossef Hernandez Alejo	<b>Lugar de muestreo</b>	Área de tratamiento	<b>Dirección</b>	Tantoyuca, Veracruz
<b>Loc. satelital</b>	No proporcionado por el cliente	<b>Matriz</b>	Agua tratada	<b>Id. de la muestra</b>	Tratamiento 2
<b>Cantidad Bajo la norma</b>	2 litros No proporcionada por el cliente	<b>No. de recipiente Subcategoría</b>	2 recipientes AR	<b>Muestreo realizado por</b>	Cliente

**Observaciones** Se reciben 2 frascos con agua color amarillento con partículas y tierra. Muestra recepcionada y analizada bajo condiciones de entrega en recepción.

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO
Sólidos Suspendidos Totales	16	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
MPM			
DQO	147.3	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
LECG			

Superíndice:

<sup>0</sup> Prueba no acreditable.

<sup>1</sup> Prueba no acreditada.

<sup>2</sup> Análisis realizado por subcontratación.

<sup>3</sup> Análisis realizado por contratación.

<sup>4</sup> Dato proporcionado por el cliente.

<sup>5</sup> Prueba acreditada en agua.

<sup>a</sup> Medición directa realizada al momento de colecta de muestra.

<sup>b</sup> Medición directa realizada en tiempo posterior a la toma de muestra.



**La Sociedad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología  
a través del Concurso Iberoamericano de Proyectos  
Estudiantiles en Ciencia y Tecnología**

Otorga el presente

# RECONOCIMIENTO

a:

**Fabio Jhossef Hernández Alejo**  
por su participación como

**EXPOSITOR de PROYECTO**  
en la final nacional de

**INFOMATRIX MÉXICO 2024**



realizado del 24 al 27 abril en las instalaciones de la Universidad del Valle  
de México Campus Guadalajara Sur

Tiaquepaque, Jalisco a 27 de abril de 2024

Dr. Manuel Ferrnando Guzmán Muñoz  
Presidente SOLACTY



27780-667

Dra. Luz Patricia Ramírez Aceves  
Coordinadora General



**3ER. CONGRESO NACIONAL 2DO. INTERNACIONAL  
DE TRANSVERSALIDAD AMBIENTAL EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO:  
AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE NARANJOS**

OTORGA LA PRESENTE

**CONSTANCIA**

AL: C. FABIO JHOSSEF HERNÁNDEZ ALEJO

Por haber impartido de manera exitosa la Ponencia

**ANÁLISIS CICLO VIDA Y SU IMPORTANCIA COMO HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DEL  
IMPACTO AMBIENTAL EN MIPYMES**

Teniendo como sede el Instituto Tecnológico Superior de Naranjos

Llevado a cabo el 23 de Mayo de 2024.

Cd. Naranjos, Ver., a 23 de Mayo 2024.

*Dr. Eloy Jesús Méndez Sánchez*  
Dirección General

Director General del ITSNa



Red ConADI-  
2030-DS

7.



**EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
A TRAVÉS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COLIMA**

OTORGA EL PRESENTE

**DIPLOMA**

A

**FABIO JHOSSEF HERNANDEZ ALEJO**

POR HABER OBTENIDO EL PRIMER LUGAR  
DE LA CATEGORÍA INDUSTRIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA (POSGRADO)  
PRESENTANDO EL PROYECTO MECHANICAL MONITORING SCANNER, EN LA  
**CUMBRE NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, EMPRENDIMIENTO E INNOVACIÓN,  
INNOVATECNM 2024  
ETAPA NACIONAL**

CELEBRADO DEL 19 AL 22 DE NOVIEMBRE  
**CIUDAD DE VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA A 22 DE NOVIEMBRE DE 2024**



ANDREA YADIRA  
ZARATE FUENTES  
**SECRETARIA DE EXTENSIÓN  
Y VINCULACIÓN**



HUGO ERNESTO  
CUÉLLAR CARREÓN  
**DIRECTOR DEL  
IT DE COLIMA**

