



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

CONSTRUCCIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CAFETERIA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA:

Mario Alejandro López Bautista

Como requisito para acreditar la Residencia Profesional de la Licenciatura
en:

INGENIERÍA QUÍMICA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Enero, 2024.





Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al éxito de este proyecto. Sin su apoyo y dedicación, este logro no habría sido posible.

Agradezco a Ing. Hugo por su orientación experta y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Su conocimiento y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo y la finalización de este proyecto.

Mi agradecimiento se extiende al Dr. Juan José Villalobos Maldonado por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto. La colaboración en este proyecto me ha ayudado de forma educativa, contribuyendo significativamente a mi crecimiento académico y profesional.

Agradezco a mi familia y amigos por su constante apoyo emocional y comprensión durante las etapas desafiantes de este proyecto. Su aliento ha sido mi fuente de motivación.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todos aquellos que, de una manera u otra, aportaron a la realización de este proyecto. Cada contribución, grande o pequeña, ha dejado una marca significativa en este logro colectivo.

Gracias a todos por ser parte de este viaje y por hacer que este proyecto sea un hito memorable en mi trayectoria académica.





Resumen

La utilización de humedales artificiales en el tratamiento de aguas servidas está siendo ampliamente utilizados en la actualidad con el fin de tratar las aguas residuales de manera natural, sin utilización de energía, y junto a ello, reutilizándola principalmente en riego, disminuyendo el consumo de agua en lugares donde esta necesidad básica está en vías de agotarse. Sumado a esto, el aumento de residuos biológicos y químicos en las aguas superficiales presiona la creación de una alternativa de bajo costo para el tratamiento de agua, en comparación a las convencionalmente utilizadas.

Los humedales artificiales son sistemas creados por el ser humano para replicar las funciones de los humedales naturales. Estos espacios húmedos construidos tienen el propósito de tratar aguas residuales, mejorar la calidad del agua y proporcionar hábitats para la fauna y flora acuática. Estos sistemas, son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas residuales, emplean procesos biológicos, químicos y físicos para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de su descarga en cuerpos receptores.

Además, los humedales artificiales contribuyen a la conservación de la biodiversidad al proporcionar hábitats para una variedad de especies acuáticas y aves. Su capacidad para controlar inundaciones, mejorar el paisaje, y servir como herramientas educativas los posiciona como elementos clave en la promoción de prácticas ambientales sostenibles y en la protección de ecosistemas acuáticos y terrestres.

La tasa de remoción de contaminantes por la especie de planta utilizada que fue *Canna Indica*, fue determinada mediante los parámetros de DQO (Demanda química de oxígeno), DBO (Demanda bioquímica de oxígeno), Fósforo, Nitrógeno total y Sólidos suspendidos totales, entre otros.

Los humedales artificiales son sistemas eficientes en la remoción de contaminantes para las aguas residuales domiciliarias, y con bajos costos de construcción, operación y manutención.





Abstract

The use of artificial wetlands in wastewater treatment is currently being widely used in order to treat wastewater naturally, without the use of energy, and along with this, reusing it mainly in irrigation, reducing water consumption. . in places where this basic need is in the process of being exhausted. In addition to this, the increase in biological and chemical waste in surface waters puts pressure on the creation of a low-cost alternative for water treatment, compared to those conventionally used.

Constructed wetlands are systems created by humans to replicate the functions of natural wetlands. These constructed wet spaces have the purpose of treating wastewater, improving water quality and providing habitats for aquatic fauna and flora. These systems, used mainly for wastewater treatment, use biological, chemical and physical processes to eliminate contaminants and improve water quality before discharge into receiving bodies.

Additionally, constructed wetlands contribute to biodiversity conservation by providing habitats for a variety of aquatic species and birds. Their ability to control floods, improve the landscape, and serve as educational tools positions them as key elements in promoting sustainable environmental practices and protecting aquatic and terrestrial ecosystems.

The pollutant removal rate by the plant species used, which was *Canna Indica*, was determined using the parameters of COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand), Phosphorus, Total Nitrogen and Total Suspended Solids, among others.

Artificial wetlands are efficient systems for removing contaminants from household wastewater, and with low construction, operation and maintenance costs.





Índice

Contenido

- 1. **Introducción**..... 8
- 2. **Antecedentes**..... 9
- 3. **Descripción de la empresa** 11
 - Nombre de la empresa:**..... 11
 - Historia:**..... 11
 - Misión:**..... 12
 - Visión:**..... 12
 - Valores:** 12
 - Política ambiental:**..... 12
- 4. **Problemas por resolver** 13
- 5. **Objetivos**..... 14
 - Objetivo general:** 14
 - Objetivos específicos:** 14
- 6. **Justificación** 15
 - Tratamiento eficiente de aguas residuales:**..... 15
 - Conservación de la biodiversidad:**..... 15
 - Control de inundaciones y gestión del agua:**..... 15
 - Mejora del paisaje urbano y calidad de vida:** 15
 - Cumplimiento de regulaciones ambientales:**..... 16
 - Educación ambiental y conciencia comunitaria:**..... 16
 - Resiliencia climática:** 16
- 7. **Marco teórico**..... 17
 - La contaminación**..... 17





Humedales naturales: 18

Los humedales naturales se presentan en una variedad de formas en todo el mundo, las cuales son:..... 19

Los humedales naturales desempeñan numerosos roles críticos en la ecología y en el bienestar humano...... 19

Humedales Artificiales 20

Características y componentes comunes de los humedales artificiales (construidos)...... 21

La importancia de los Humedales Artificiales en México. 22

Partes técnicas de un Humedal artificial:..... 23

Tipos de Humedales Artificiales. 25

Los componentes técnicos principales de los humedales artificiales son:..... 27

Factores que afectan a un Humedal Artificial: 27

Procesos químicos que se producen en un humedal artificial. 29

8. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas 31

8.1 **Revisión bibliográfica.** 31

8.2 **Caracterizar el agua residual proveniente de la cafetería.**..... 32

8.3 **Seleccionar el vegetal que realizará la depuración:**..... 34

8.4 **Diseño de todos los componentes y armado de un prototipo del humedal:** 35

8.4.1 **Tanque de igualación** 35

8.4.2 **Sedimentador** 36

8.4.3 **Trampa de grasas**..... 41

8.4.4 **Humedal**..... 44

8.5 **Monitoreo del sistema:** 47

8.6 **Alimentación y salida del efluente:** 48

9. Resultados 50





Prototipo de humedal	50
Tanque de igualación	51
Sedimentador	52
Trampa de grasas	57
Humedal	60
10. Conclusiones	64
11. Experiencia personal adquirida	66
12. Competencias desarrolladas y/o aplicadas	67
13. Fuentes de información	69
14. Anexos	71





1. Introducción

Los humedales artificiales, son construcciones diseñadas por el ser humano para emular las funciones ecológicas de los humedales naturales, se han convertido en un campo de investigación y aplicación clave en la gestión sostenible del agua y la conservación del medio ambiente. En un mundo donde la presión sobre los recursos hídricos y la necesidad de abordar la contaminación son cada vez más urgentes, los humedales artificiales surgen como soluciones innovadoras que ofrecen beneficios multifacéticos.

Estos sistemas construidos se desarrollan para abordar diversas problemáticas, siendo una de las más prominentes el tratamiento de aguas residuales. A través de una combinación de procesos biológicos, químicos y físicos, los humedales artificiales pueden eliminar contaminantes como nutrientes, sedimentos y compuestos orgánicos, mejorando significativamente la calidad del agua antes de su liberación en los cuerpos receptores. Este enfoque no solo atiende la necesidad de tratamiento de aguas residuales, sino que también contribuye a la restauración y conservación de los ecosistemas acuáticos.

La diversidad de aplicaciones de los humedales artificiales va más allá del tratamiento de aguas. Estos sistemas también desempeñan un papel crucial en la prevención de inundaciones al actuar como amortiguadores naturales, absorbiendo y reteniendo el exceso de agua durante eventos climáticos extremos. Además, su capacidad para mejorar la biodiversidad es notable. Los humedales artificiales proporcionan hábitats ricos y diversos para una amplia gama de especies, desde aves acuáticas hasta insectos y plantas adaptadas a ambientes húmedos.

En un contexto más amplio, los humedales artificiales contribuyen a la sostenibilidad ambiental al ofrecer soluciones que integran armoniosamente las necesidades humanas con la conservación de la naturaleza. Su diseño y aplicación cuidadosos también pueden tener beneficios estéticos y recreativos, mejorando el paisaje y proporcionando espacios para actividades al aire libre. A medida que avanzamos en un futuro donde la gestión inteligente del agua y la preservación de los ecosistemas acuáticos se vuelven imperativas, los humedales artificiales emergen como herramientas esenciales para abordar desafíos ambientales críticos y para construir un futuro más sostenible.





2. Antecedentes

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Ciudad de México:

En la Ciudad de México, se han implementado diversas plantas de tratamiento de aguas residuales para abordar la creciente demanda y reducir la contaminación de los cuerpos de agua. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco es un ejemplo significativo.

Proyectos de Saneamiento en Acapulco, Guerrero:

La ciudad de Acapulco ha llevado a cabo proyectos para mejorar la infraestructura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales. Estos proyectos buscan reducir la contaminación en las playas y proteger la salud pública.

Proyectos Comunitarios en Zonas Rurales:

En diversas comunidades rurales de México, se han desarrollado proyectos comunitarios para el tratamiento de aguas, a menudo utilizando tecnologías descentralizadas y adaptadas a las necesidades locales. Estos proyectos buscan mejorar la calidad del agua y promover prácticas sostenibles.

Iniciativas de Reúso de Aguas Grises:

Algunas ciudades y comunidades en México han implementado proyectos para el reúso de aguas grises, especialmente en aplicaciones no potables como riego de jardines, lavado de autos o descargas de inodoros. Estos proyectos buscan conservar el agua y reducir la demanda en fuentes de agua potable.

Humedales Artificiales en Chiapas:

En Chiapas, como en otras regiones, se han implementado humedales artificiales como estrategia de tratamiento de aguas residuales. Estos humedales contribuyen a la eliminación de contaminantes y pueden integrarse en proyectos de conservación y restauración ambiental.

Infraestructura de Tratamiento:

Chiapas ha enfrentado desafíos en términos de infraestructura de tratamiento de aguas. A lo largo del tiempo, se han implementado proyectos para mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales y reducir la contaminación de los cuerpos de agua.





Conservación y Uso Sostenible del Agua:

Dada la riqueza de recursos naturales en Chiapas, existen iniciativas para la conservación y el uso sostenible del agua. Esto incluye proyectos que promueven prácticas agrícolas más eficientes y la gestión adecuada de fuentes de agua.

Humedales Artificiales y Tratamiento Natural:

La implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales ha sido una estrategia utilizada en Chiapas. Estos sistemas aprovechan procesos naturales para purificar el agua antes de su descarga en cuerpos receptores.

Proyectos Comunitarios y Tecnologías Descentralizadas:

En algunas comunidades rurales de Chiapas, se han implementado proyectos comunitarios que utilizan tecnologías descentralizadas para el tratamiento de aguas. Estos proyectos suelen adaptarse a las condiciones locales y buscar soluciones sostenibles.

Colaboración con Organizaciones No Gubernamentales (ONG):

Diversas ONG y organismos internacionales han colaborado en proyectos relacionados con el tratamiento de aguas en Chiapas. Estas colaboraciones buscan abordar las necesidades locales y mejorar la gestión del agua.

Chiapas enfrenta desafíos relacionados con la gestión del agua, incluyendo la contaminación, la falta de acceso en algunas áreas y la necesidad de una mayor conciencia sobre la importancia del tratamiento adecuado. Sin embargo, también hay oportunidades para implementar soluciones innovadoras y sostenibles.





3. Descripción de la empresa

Nombre de la empresa:

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Historia:

El Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez o Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG); es una pequeña universidad pública de tecnología, ubicada en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Es una Institución educativa pública de educación superior, que forma parte del Tecnológico Nacional de México. El TecNM Campus Tuxtla Gutiérrez también está afiliado a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), 3 zona Sur-Sureste.

Fue fundado el 22 de octubre de 1972, por el Exgobernador del Estado Dr. Samuel León Brindis, inicialmente con el nombre de Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG), posteriormente se llamaría el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Actualmente es considerado en el estado de Chiapas la principal universidad de tecnología e ingeniería.

Su lema es **Ciencia y Tecnología con Sentido Humano** y su actual director es el M. en C. José Manuel Rosado Pérez.

Cuenta con tres extensiones en las ciudades de Chiapa de Corzo, Carranza y la otra en la ciudad de Bochil, además posee un Centro de Posgrado para estudios de Maestría en Ciencias en Mecatrónica, Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y el Doctorado en Ciencias en Biotecnología.

Durante más de 46 años, el Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez ha formado profesionistas de calidad, con un claro compromiso social, cimentado en la ciencia, la investigación y el respeto a la dignidad de las personas, brindando el acceso en condiciones de igualdad a una formación profesional de calidad.

Tenemos el propósito de transformar vidas a través de la educación, formando profesionistas con ética, liderazgo y sensibles a la realidad social que se vive en el país. Profesionistas que generan un impacto positivo en su comunidad.





Quienes forman parte de la comunidad del Tecnológico, saben que el desarrollo de la humanidad se dará a través de una educación equitativa que promueva la investigación, la innovación, el liderazgo, el emprendimiento y el desarrollo tecnológico. Fortaleciendo la generación de redes de trabajo y la cooperación internacional.

Creen en una educación que promueva una cultura de paz, una ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural.

Misión:

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

Visión:

Ser una Institución de Excelencia en la Educación Superior Tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

Valores:

- El ser humano
- El espíritu de servicio
- El liderazgo
- El trabajo en equipo
- La calidad
- El alto desempeño
- Respeto al medio ambiente

Política ambiental:

El instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez establece el compromiso de orientar todos sus procesos, actividades y servicios hacia el respeto al medio ambiente y otros requisitos aplicables; promover en su personal, clientes y partes interesadas la prevención de contaminación, operación y mejora continua de un sistema de gestión ambiental conforma a la norma ISO 14001:2004 y su equivalente nacional NMX-SSA-14001-MNC-2004.





4. Problemas por resolver

En México, y específicamente en el estado de Chiapas, el tratamiento de aguas grises presenta desafíos particulares que deben abordarse para mejorar la gestión del recurso hídrico y reducir la contaminación. Algunos de los problemas a resolver en relación con las aguas grises en México y Chiapas incluyen:

Falta de Infraestructura para el Tratamiento:

En muchas áreas del país la infraestructura para el tratamiento de aguas grises puede ser limitada o inexistente. Dejando que el agua gris con diversos contaminantes sea enviada al alcantarillado y posteriormente descargados en cuerpos de agua contaminándolos.

Desarrollando e implementando sistemas de tratamiento de aguas grises adecuados y accesibles, se puede sanear esta agua para no contaminar y obstruir el alcantarillado y también salvando los cuerpos de agua de la contaminación del agua no tratada ya que la descarga directa de aguas grises sin tratar en cuerpos de agua superficiales contribuye a la contaminación y degradación del entorno acuático.





5. Objetivos

Objetivo general:

- Diseñar un tren de tratamiento para las aguas grises provenientes de la cafetería del instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el agua residual proveniente de la cafetería
- Construcción y armado del prototipo de un humedal
- Realización de pruebas de tratabilidad
- Verificar si el efluente cumple con la normatividad vigente





6. Justificación

La construcción de un humedal artificial es muy benéfica por varias razones que van desde la mejora de la calidad del agua hasta la conservación del medio ambiente. Algunas razones importantes son:

Tratamiento eficiente de aguas residuales:

Los humedales artificiales ofrecen un método natural y efectivo para tratar aguas residuales. Actúan como sistemas de filtración biológica, eliminando contaminantes y nutrientes del agua antes de su descarga al medio ambiente. Esto es particularmente relevante para abordar problemas de contaminación del agua en áreas urbanas e industriales.

Conservación de la biodiversidad:

La construcción de humedales artificiales proporciona hábitats propicios para una variedad de plantas, aves, insectos y otras especies. Esto contribuye a la conservación de la biodiversidad al crear ecosistemas acuáticos que pueden albergar y sustentar una amplia gama de vida silvestre.

Control de inundaciones y gestión del agua:

Los humedales artificiales actúan como zonas de retención de agua, ayudando a controlar inundaciones al absorber y retener el exceso de agua durante eventos climáticos intensos. Además, contribuyen a la recarga de acuíferos, promoviendo la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Mejora del paisaje urbano y calidad de vida:

La integración de humedales artificiales en áreas urbanas no solo proporciona beneficios ambientales, sino que también mejora la estética del paisaje. Estos espacios pueden convertirse en lugares atractivos para la recreación y el disfrute público, mejorando así la calidad de vida de las comunidades locales.





Cumplimiento de regulaciones ambientales:

La construcción de humedales artificiales puede ayudar a cumplir con regulaciones ambientales relacionadas con la calidad del agua y la gestión de aguas residuales. Al adoptar enfoques sostenibles para el tratamiento del agua, las entidades pueden contribuir al cumplimiento de estándares ambientales y reducir la huella ecológica.

Educación ambiental y conciencia comunitaria:

Los humedales artificiales pueden servir como herramientas educativas, brindando a las comunidades la oportunidad de aprender sobre la importancia de los humedales, la conservación del agua y la biodiversidad. Esto fomenta la conciencia ambiental y promueve prácticas más sostenibles.

Resiliencia climática:

En un contexto de cambio climático, los humedales artificiales pueden contribuir a la resiliencia climática al actuar como amortiguadores naturales frente a eventos extremos como inundaciones y sequías. Su capacidad para retener agua y regular el flujo hídrico puede ayudar a mitigar los impactos adversos del cambio climático en los recursos hídricos. La construcción de humedales artificiales, por lo tanto, no solo resuelve desafíos ambientales específicos, sino que también ofrece una variedad de beneficios sociales y económicos para las comunidades locales y el entorno en general.





7. Marco teórico

La contaminación

La contaminación del agua es un desafío ambiental global que afecta a comunidades, ecosistemas y la biodiversidad en todo el mundo. Las principales fuentes de contaminación incluyen desechos industriales, agrícolas y urbanos, así como descargas de productos químicos tóxicos. El aumento de la población, la urbanización y la industrialización han intensificado este problema, comprometiendo la calidad y la disponibilidad del agua dulce.

En México, la contaminación del agua es un problema crítico que afecta a diversas regiones del país. La descarga de desechos industriales y agrícolas, así como la falta de tratamiento de aguas residuales, contribuyen significativamente a la degradación del agua. La sobreexplotación de acuíferos y la contaminación por desechos sólidos también son preocupaciones importantes. La gestión ineficiente y la falta de regulación adecuada han exacerbado la situación, impactando negativamente la salud de las comunidades y la viabilidad de los ecosistemas acuáticos.

Chiapas, como parte de México, enfrenta desafíos específicos en cuanto a la contaminación del agua. La actividad agrícola, especialmente en áreas con grandes extensiones de cultivos, contribuye a la contaminación por agroquímicos. Además, la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales en algunas áreas agrava la situación. La deforestación y la erosión del suelo también afectan negativamente la calidad del agua en ríos y arroyos, comprometiendo la disponibilidad de agua limpia para las comunidades locales.

Los impactos de la contaminación del agua son diversos y abarcan desde problemas de salud pública hasta la pérdida de biodiversidad. Las comunidades que dependen de fuentes de agua contaminadas enfrentan riesgos de enfermedades transmitidas por el agua, mientras que los ecosistemas acuáticos sufren la pérdida de hábitats y la disminución de poblaciones de especies nativas. Además, la contaminación del agua tiene efectos a largo plazo en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.





Para abordar estos desafíos, es fundamental implementar medidas efectivas a nivel local, nacional e internacional. Esto incluye mejorar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales, promover prácticas agrícolas sostenibles, fortalecer la regulación y supervisión ambiental, así como fomentar la conciencia pública sobre la importancia de la gestión responsable del agua.

La contaminación del agua es un problema global que requiere esfuerzos colaborativos y acciones coordinadas. En México, y específicamente en Chiapas, es esencial adoptar estrategias integrales para abordar las causas fundamentales de la contaminación, asegurando así la preservación de los recursos hídricos para las generaciones futuras y la protección de la salud de las comunidades y los ecosistemas.

Humedales naturales:

Los humedales naturales son ecosistemas acuáticos que desempeñan un papel vital en la salud del planeta. Estos espacios, que pueden variar desde pequeñas áreas inundadas hasta vastos pantanos y deltas, son conocidos por su excepcional biodiversidad y sus múltiples beneficios ambientales.

Los humedales naturales son áreas de tierra que están saturadas o inundadas con agua de forma permanente o temporal. Estas zonas son reconocidas por la presencia de agua superficial, suelos hidromórficos (suelos saturados de agua) y una vegetación adaptada a condiciones húmedas.

Los humedales naturales desempeñan un papel crucial en la purificación y mejora de la calidad del agua. Estos humedales actúan como filtros naturales al eliminar contaminantes y nutrientes del agua a medida que fluye a través de ellos. Hay dos tipos principales de humedales utilizados con este propósito: humedales construidos y humedales naturales.

Humedales construidos: Estos humedales se diseñan y construyen con el objetivo específico de tratar las aguas residuales. Se crean para imitar los procesos naturales de purificación que ocurren en los humedales naturales. Los humedales construidos pueden ser superficiales o subsuperficiales y pueden utilizar diferentes tipos de plantas y microorganismos para eliminar contaminantes.

Humedales naturales: Los humedales naturales, por otro lado, son áreas de tierra inundada de manera estacional o permanente, con vegetación acuática y suelo saturado de agua. Estos humedales se encuentran en la naturaleza y han evolucionado para desempeñar





funciones ecológicas importantes, incluida la mejora de la calidad del agua. Los humedales naturales pueden actuar como sumideros naturales para contaminantes y nutrientes, ayudando a prevenir la contaminación del agua.

En ambos casos, los humedales aprovechan procesos biogeoquímicos naturales, como la absorción de nutrientes por las plantas, la sedimentación, la adsorción en el sustrato y la actividad microbiana, para eliminar contaminantes del agua. Los contaminantes comunes que pueden ser tratados en los humedales incluyen nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, metales pesados, materia orgánica y patógenos.

La utilización de humedales naturales para el tratamiento de aguas es una forma sostenible y eficaz de abordar problemas de calidad del agua, ya que imita y aprovecha los procesos naturales que ya están en funcionamiento en estos ecosistemas.

Los humedales naturales se presentan en una variedad de formas en todo el mundo, las cuales son:

Pantanos: Zonas inundadas con agua dulce o salada, caracterizadas por su vegetación emergente y su importancia para la absorción de inundaciones.

Marismas: Terrenos inundados de agua salada o salobre, a menudo ubicados en zonas costeras, que albergan una rica biodiversidad.

Turberas: Suelos saturados de agua ricos en materia orgánica que se acumulan durante miles de años. Son esenciales para la captura de carbono y la regulación del clima.

Lagunas y Estanques: Depresiones en la tierra que pueden contener agua estancada o en movimiento, y que proporcionan hábitats importantes para diversas especies acuáticas.

Los humedales naturales desempeñan numerosos roles críticos en la ecología y en el bienestar humano.

Aquí algunos roles en los que se desempeñan:

Biodiversidad: Son hogar de una asombrosa variedad de flora y fauna, incluyendo aves, peces, anfibios, reptiles y plantas acuáticas. Muchas especies en peligro de extinción dependen de los humedales para sobrevivir.





Filtración de Agua: Actúan como filtros naturales al eliminar contaminantes y nutrientes del agua, mejorando así la calidad del agua que fluye a ríos y lagos.

Control de Inundaciones: Absorben y retienen agua durante periodos de lluvia intensa, ayudando a prevenir inundaciones y mitigar daños.

Captura de Carbono: Las turberas, en particular, almacenan grandes cantidades de carbono atmosférico, ayudando a mitigar el cambio climático.

Recreación y Turismo: Los humedales ofrecen oportunidades para actividades recreativas como la observación de aves, la pesca y el turismo, contribuyendo a las economías locales.

A pesar de su importancia, los humedales naturales enfrentan amenazas significativas, incluyendo la urbanización, la agricultura intensiva, la contaminación y el cambio climático. La degradación y la pérdida de humedales tienen consecuencias graves para la biodiversidad y la calidad del agua.

Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales construidos por el ser humano para imitar las funciones de los humedales naturales. Estos sistemas emplean una variedad de tecnologías para depurar y purificar las aguas residuales antes de ser liberadas al ambiente o reutilizadas. Los humedales artificiales pueden ser de dos tipos principales: subsuperficiales (horizontal o vertical) y de flujo superficial. Estos sistemas utilizan plantas acuáticas, sustratos y procesos microbiológicos para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua.

Los humedales artificiales (construidos) son sistemas diseñados y creados para tratar las aguas residuales y mejorar la calidad del agua. Estos sistemas utilizan procesos naturales y biológicos para eliminar contaminantes presentes en el agua. Los humedales construidos pueden ser implementados en áreas urbanas o rurales y se utilizan para tratar las aguas residuales municipales, industriales y agrícolas.



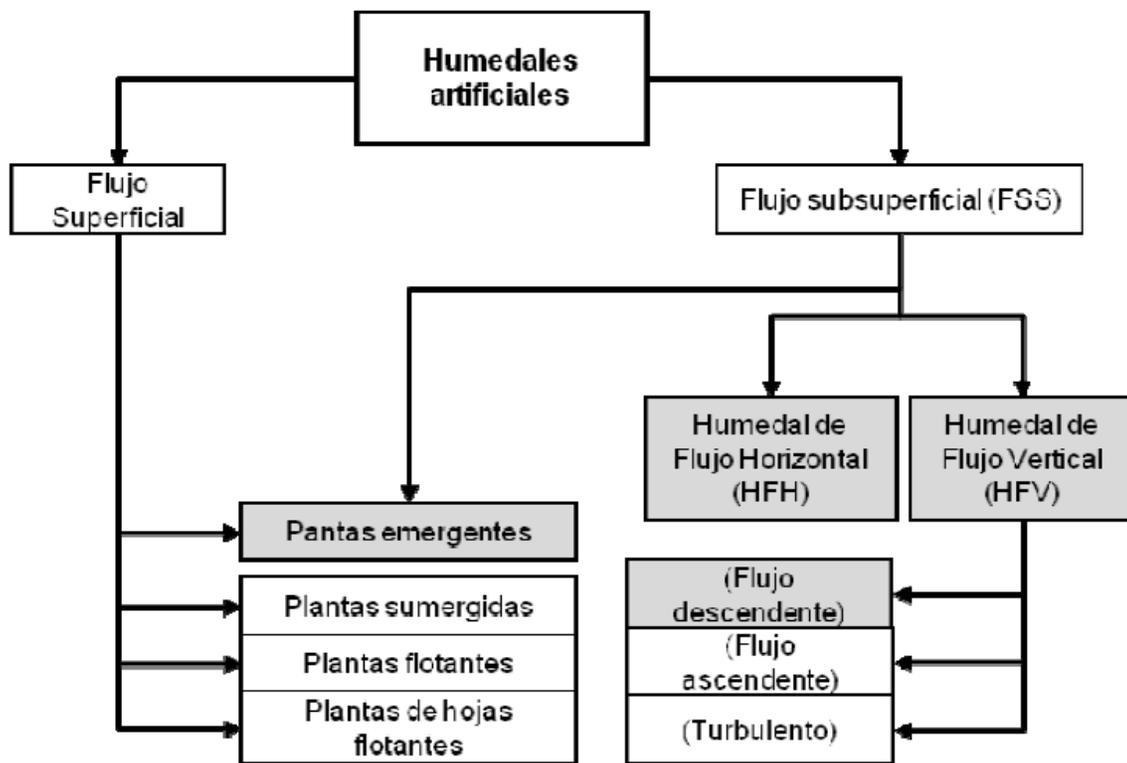


Fig. 1 Clasificación de los Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales (adaptado de Vymazal & Kröpfelová, 2008)

Características y componentes comunes de los humedales artificiales (construidos).

- **Zonas de tratamiento:** Los humedales construidos generalmente constan de varias zonas a través de las cuales fluye el agua a tratar. Estas zonas pueden incluir estanques poco profundos, canales y lechos filtrantes.
- **Vegetación acuática:** La vegetación desempeña un papel crucial en el tratamiento del agua en los humedales construidos. Las plantas acuáticas ayudan a oxigenar el agua y proporcionan un entorno propicio para el crecimiento de microorganismos beneficiosos que participan en la descomposición de los contaminantes.



- **Sustrato:** El sustrato, o el material del lecho del humedal, también es importante. Puede consistir en grava, arena y suelos especiales que favorecen la filtración y retención de contaminantes.
- **Microorganismos:** Los humedales construidos albergan una variedad de microorganismos, como bacterias y hongos, que juegan un papel clave en la descomposición y eliminación de contaminantes presentes en el agua.
- **Procesos físicos y biológicos:** Los humedales construidos utilizan procesos físicos y biológicos para tratar el agua. La filtración, la adsorción, la sedimentación y la actividad microbiana son algunos de los mecanismos clave que ayudan a eliminar contaminantes.

Estos humedales se han utilizado con éxito para tratar aguas residuales, reducir la carga de nutrientes, eliminar patógenos y mejorar la calidad del agua de manera sostenible y eficiente.

La importancia de los Humedales Artificiales en México.

Los humedales son significativos por diversas razones:

Tratamiento de Aguas Residuales: Uno de los principales usos de los humedales artificiales en México es el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. Estos sistemas proporcionan una alternativa ecológica y rentable para depurar aguas residuales antes de su descarga, reduciendo la contaminación del agua y contribuyendo a la conservación de cuerpos de agua naturales.

Conservación de la Biodiversidad: Los humedales artificiales pueden servir como hábitats para la fauna y flora acuáticas. En México, donde la biodiversidad es abundante, estos sistemas pueden ayudar a mantener poblaciones de especies en riesgo, proporcionando refugio y alimentación.

Prevención de Inundaciones: Los humedales artificiales pueden desempeñar un papel importante en la gestión de inundaciones al actuar como zonas de retención de agua durante eventos de lluvias intensas. Esto ayuda a reducir el riesgo de inundaciones en áreas urbanas y rurales.





Mejora de la Calidad del Agua: Estos sistemas contribuyen a la mejora de la calidad del agua al eliminar nutrientes, metales pesados y otros contaminantes. Esto es especialmente importante en México, donde la contaminación del agua es un problema crítico en muchas regiones.

Educación y Conciencia Ambiental: Los humedales artificiales pueden utilizarse como herramientas educativas para sensibilizar a la sociedad sobre la importancia de la conservación de los humedales naturales y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley de Aguas Nacionales establecen los lineamientos para la conservación y el uso sostenible de los humedales. Además, México es signatario de convenios internacionales, como el Convenio de Ramsar, que promueve la conservación y el uso racional de los humedales.

A pesar de su importancia, los humedales artificiales enfrentan retos en México, como la financiación adecuada, la capacitación de personal, la operación y el mantenimiento sostenible. Además, la expansión urbana y la agricultura pueden amenazar la conservación de estos sistemas.

En resumen, los humedales artificiales desempeñan un papel vital en la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad en México. Su implementación adecuada y la promoción de políticas de conservación son esenciales para aprovechar al máximo sus beneficios ambientales y sociales.

Partes técnicas de un Humedal artificial:

El funcionamiento de un humedal artificial (construido) implica una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan para tratar las aguas residuales y mejorar su calidad. Cada parte de un humedal artificial cumple una función crucial en el proceso de purificación y conservación del agua, las partes clave que conforman un humedal artificial y su función en el sistema son las siguientes:

1. Entrada de aguas residuales:





El agua residual, que puede ser de origen municipal, industrial o agrícola, ingresa al sistema del humedal construido.

2. Zona de pretratamiento:

En algunos sistemas, puede haber una zona de pretratamiento que retiene sólidos gruesos y permite la decantación inicial de partículas más pesadas. Esto ayuda a proteger las partes más sensibles del humedal de la acumulación de sólidos.

3. Zona de flujo superficial o canal de llegada:

El agua ingresa a una zona de flujo superficial o a un canal, donde se ralentiza, permitiendo que ocurran procesos físicos y biológicos clave. En esta área, se produce la sedimentación inicial de partículas sólidas más pesadas.

4. Zona de macrófitos (plantas acuáticas):

Las plantas acuáticas, como juncos o lirios, se encuentran en esta zona. Estas plantas desempeñan un papel crucial en la purificación del agua. Las raíces proporcionan un sustrato para el crecimiento de microorganismos beneficiosos, y las plantas mismas contribuyen al proceso de fitorremediación, absorbiendo y acumulando contaminantes.

5. Zona de raíces y sustrato:

Las raíces de las plantas acuáticas y el sustrato actúan como un medio para la adsorción y retención de contaminantes. La interacción entre el agua, el sustrato y las raíces promueve procesos de filtración y eliminación de nutrientes.

6. Zona de zona de tratamiento secundario:

En algunos humedales construidos, especialmente en sistemas más complejos, puede haber una zona de tratamiento secundario que incluye plantas emergentes y sumergidas adicionales. Estas plantas proporcionan una mayor superficie para la colonización de microorganismos y mejoran la eficiencia de tratamiento.

7. Zona de flujo subsuperficial o lecho filtrante:





En humedales construidos subsuperficiales, el agua fluye a través de un lecho filtrante compuesto por capas de arena, grava o sustrato especializado. Este proceso facilita la filtración adicional y la remoción de contaminantes.

8. Microorganismos y bacterias:

A lo largo de todo el humedal, microorganismos y bacterias descomponen y metabolizan contaminantes orgánicos, contribuyendo significativamente a la depuración del agua.

9. Salida de agua tratada:

Finalmente, el agua tratada sale del humedal construido con una mejora significativa en su calidad. Puede ser liberada al medio ambiente o dirigida a un sistema de almacenamiento para un uso posterior.

El diseño específico y la configuración de un humedal construido pueden variar según el propósito, la ubicación y el tipo de agua residual que se está tratando, pero en general, estos sistemas aprovechan los procesos naturales para lograr una purificación efectiva y sostenible del agua.

Tipos de Humedales Artificiales.

Existen diferentes tipos de humedales artificiales los cuales son:

1. Humedales Artificiales Subsuperficiales:

Estos humedales están diseñados para permitir que el agua fluya por debajo de la superficie del suelo. Hay dos tipos principales:

Humedales Artificiales Horizontales Subsuperficiales: El agua fluye horizontalmente a través de camas de grava, arena y otros materiales filtrantes. Estos sistemas son eficientes en la eliminación de contaminantes y son comunes en tratamientos de aguas residuales municipales e industriales.

Humedales Artificiales Verticales Subsuperficiales: El agua fluye verticalmente a través de una columna de material filtrante. Esto permite una mayor retención de contaminantes y es





adecuado para espacios limitados. Los humedales verticales a menudo se utilizan en aplicaciones urbanas y en el tratamiento de aguas grises.

2. Humedales Artificiales de Flujo Superficial:

En estos sistemas, el agua fluye de manera visible en la superficie a través de una serie de canales, estanques o canales de plantas. Existen varios subtipos:

Humedales Artificiales de Flujo Superficial Libre: El agua fluye de manera libre y abierta a través de canales o estanques revestidos con plantas acuáticas. Estos sistemas son adecuados para áreas con espacio disponible y son efectivos en la eliminación de nutrientes y contaminantes.

Humedales Artificiales de Flujo Superficial (Constructed Wetland CW): Son sistemas similares a los humedales de flujo superficial libre, pero se diseñan específicamente para el tratamiento de aguas residuales. Están compuestos por una serie de estanques con plantas y materiales filtrantes que remueven contaminantes y mejoran la calidad del agua.

3. Humedales Artificiales de Flujo Mixto:

Estos sistemas combinan elementos de flujo subsuperficial y superficial. El agua se trata primero en una zona de flujo subsuperficial antes de fluir hacia una zona de flujo superficial. Esta combinación permite una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes y nutrientes.

4. Humedales Artificiales Flotantes:

Estos innovadores sistemas utilizan estructuras flotantes con plantas acuáticas para tratar aguas residuales en lagunas o cuerpos de agua contaminados. Las raíces de las plantas proporcionan un sustrato para la colonización microbiana y ayudan en la eliminación de nutrientes y contaminantes.

5. Humedales Artificiales Solares:

Estos sistemas utilizan la energía solar para impulsar bombas y oxigenar el agua en los humedales artificiales. Esto acelera los procesos biológicos y mejora la eficiencia del tratamiento de aguas residuales.





Los componentes técnicos principales de los humedales artificiales son:

- **Bomba para las aguas residuales** (se conoce comercialmente como bomba sumergible de lodos). La bomba es necesaria para el HFV, ya que su alimentación en pulsos es esencial, mientras que para el HFH no siempre es necesaria. El HFH puede ser alimentado continuamente, necesitando solo un desnivel entre la salida del pretratamiento y la entrada del humedal.
- **Tubos de PVC**, debidamente perforados para una distribución uniforme.
- **Revestimiento plástico** al menos debajo de la tubería de drenaje (o total)
- **Grava y arena sin polvo o arena lavada.**

Factores que afectan a un Humedal Artificial:

Los humedales artificiales son ecosistemas delicados y sensibles que pueden verse afectados por una serie de factores. Estos factores pueden influir en su funcionamiento, su capacidad para tratar aguas residuales y su salud en general. Aquí tienes una descripción de los diferentes factores que pueden afectar a un humedal artificial:

- **Calidad y composición del agua de entrada:** La calidad del agua que ingresa al humedal es un factor crítico. Altos niveles de contaminantes, como nutrientes (nitrógeno y fósforo), contaminantes orgánicos o productos químicos tóxicos, pueden sobrecargar el sistema y afectar su capacidad para tratar el agua de manera efectiva.
- **Flujo de agua:** El flujo de agua a través del humedal, tanto en términos de cantidad como de velocidad, es fundamental. Un flujo insuficiente puede reducir la eficiencia del tratamiento, mientras que un flujo excesivo puede erosionar el sustrato y perturbar las plantas y microorganismos beneficiosos.
- **Diseño y tamaño del humedal:** El diseño y tamaño del humedal deben ser apropiados para las condiciones locales y las cargas de contaminantes a tratar. Un humedal demasiado pequeño o inadecuadamente diseñado puede no ser efectivo para el tratamiento deseado.





- **Tipo de vegetación:** La elección de las especies de plantas en el humedal es esencial, ya que diferentes plantas tienen diferentes capacidades para eliminar nutrientes y contaminantes del agua. Además, la salud y la diversidad de la vegetación influyen en la eficacia del tratamiento.
- **Clima y estación del año:** Las condiciones climáticas y las estaciones del año pueden tener un impacto significativo en la eficiencia de un humedal artificial. El frío extremo, las sequías o las inundaciones pueden afectar negativamente su rendimiento.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento adecuado es esencial para el funcionamiento continuo de un humedal artificial. La acumulación de sedimentos, la invasión de especies no deseadas, la poda de plantas y la reparación de infraestructura son tareas críticas para mantener el humedal en buen estado de funcionamiento.
- **Contaminación externa:** Las fuentes de contaminación externa, como vertidos ilegales o escorrentía de aguas pluviales contaminadas, pueden introducir contaminantes adicionales en el humedal y afectar su capacidad para tratar el agua.
- **Niveles de agua subterránea:** Los niveles de agua subterránea pueden influir en la hidrología del humedal y afectar su capacidad para mantener las condiciones hídricas adecuadas para el tratamiento.
- **Actividades humanas cercanas:** Las actividades humanas cercanas, como la agricultura intensiva o la urbanización, pueden aumentar la carga de contaminantes y representar una amenaza para la salud del humedal.
- **Cambios en el uso del suelo:** Los cambios en el uso del suelo en las áreas circundantes pueden alterar el flujo de agua y los patrones de escurrimiento hacia el humedal, lo que puede afectar su funcionamiento.

La comprensión y gestión adecuada de estos factores son esenciales para garantizar que un humedal artificial cumpla con sus objetivos de tratamiento de aguas residuales, conservación de la biodiversidad y mejora de la calidad del agua.





Procesos químicos que se producen en un humedal artificial.

En un humedal artificial, se producen varios procesos químicos que son fundamentales para el tratamiento del agua y la mejora de su calidad. Estos procesos pueden variar según el diseño específico del humedal y las características del agua que se está tratando. A continuación, se describen los procesos químicos más importantes que suelen ocurrir en un humedal artificial:

- **Adsorción:** La adsorción es un proceso en el que los contaminantes se adhieren a la superficie de las partículas del sustrato, como el sedimento o la vegetación. Los humedales artificiales suelen tener superficies ricas en materia orgánica y partículas finas, lo que favorece la adsorción de contaminantes, como metales pesados y sustancias orgánicas.
- **Precipitación y coagulación:** Algunos humedales artificiales utilizan productos químicos como coagulantes para facilitar la eliminación de sólidos en suspensión y nutrientes. Estos coagulantes pueden inducir la formación de floculantes que atrapan partículas y contaminantes, permitiendo que se sedimenten y se retiren del agua.
- **Reducción de nutrientes:** La reducción de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, es un objetivo clave en muchos humedales artificiales. En estos sistemas, se pueden llevar a cabo procesos de desnitrificación y fosforilación, en los cuales microorganismos convierten los nutrientes en formas menos solubles o gaseosas, como el nitrógeno molecular o el fosfato insoluble, que luego pueden ser eliminados del agua.
- **Transformación de contaminantes orgánicos:** Los microorganismos en el sustrato y las raíces de las plantas participan en la descomposición y transformación de contaminantes orgánicos en compuestos más simples y menos tóxicos, a través de procesos de biodegradación.
- **Oxidación:** En ciertas zonas del humedal, como la zona de inundación libre, puede ocurrir la oxidación de contaminantes orgánicos. Los microorganismos aeróbicos presentes en esta área utilizan oxígeno para degradar materia y compuestos orgánicos, reduciendo así su concentración en el agua.





- **Absorción de metales pesados:** En presencia de materia orgánica y sustancias como ácidos húmicos, algunos metales pesados pueden formar complejos que reducen su toxicidad y facilitan su retención por parte del sustrato.
- **Intercambio iónico:** Los suelos y sedimentos en un humedal artificial pueden contener arcillas y minerales con cargas superficiales. Estos sitios de intercambio iónico pueden adsorber iones en el agua, ayudando a eliminar contaminantes como iones metálicos.
- **Reacciones redox:** La zona de raíces y sedimentos en un humedal artificial puede experimentar fluctuaciones en el potencial redox (reducción-oxidación), lo que puede influir en la disponibilidad de oxígeno y afectar la capacidad del humedal para eliminar contaminantes y nutrientes.
- **Transformación de compuestos químicos específicos:** En función de la composición química de los contaminantes presentes, pueden ocurrir diversos procesos químicos, como la hidrólisis, la foto degradación y otros mecanismos de transformación que dependen de la naturaleza de los contaminantes y las condiciones del humedal.

Estos procesos químicos interactúan de manera compleja en un humedal artificial y pueden variar según el diseño, la vegetación y las condiciones ambientales específicas. El resultado final es la mejora de la calidad del agua tratada a medida que los contaminantes se retiran, se transforman o se vuelven menos solubles.





8. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

8.1 Revisión bibliográfica.

Con respecto a la revisión bibliográfica se consultaron diversas fuentes de información tales como artículos, revistas, tesis, metodologías, notas, documentos y manuales en los que están incluidos la revista de didáctica ambiental para la preparación de agua residual sintética de aquí se puede obtener algunas sugerencias para la preparación de agua residual sintética, el artículo de preparación y composición de agua residual sintética para vermifiltros a escala de laboratorio se utilizó para tener una guía sobre la creación de agua residual sintética que se utilizó previamente para tener en cuenta los reactivos se utilizaron para tenerlos en cuenta para la creación de nuestra agua residual sintética, el documento de la composición de aguas residuales para entender de qué están conformadas las aguas residuales sintéticas, los artículos publicados sobre las normas NMX-AA-030/2-SCFI-2011 (DQO) para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo del muestreo, también para saber los límites máximos permisibles de DQO en el agua para uso y consumo humano, NMX-AA-045-SCFI-2001 (Color) para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre el método para la determinación de color aparente y/o verdadero, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas con tonos amarillos, NMX-AA-038-SCFI-2001 (Turbidez) para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre el procedimiento para la determinación en campo y en el laboratorio de la turbiedad en muestras de agua residual, residual tratada y natural, en un intervalo de trabajo de 0.01 a 40 UNT, pudiendo incrementar este intervalo realizando diluciones de muestras con concentraciones mayores a 40 UNT, NMX-AA-008-SCFI-2016 (pH) para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre el método de prueba para la medición de pH en aguas naturales. Residuales y residuales tratadas, en el intervalo de temperatura de 0°C a 50°C, NMX-AA-093-SCFI-2018 (Conductividad eléctrica) para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre el método para la medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, la tesis diseño y construcción de un prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domesticas de Leonardo Andrés Parrao López de 2018, para conocer y estudiar las bases y el diseño de un humedal artificial, también para conocer la clasificación que hay de los humedales artificiales y en que varían los componentes de cada humedal para determinar cuál es el mejor, el manual de revisión





técnica de humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas para conocer a detalla lo que se necesita para la construcción de un humedal, el artículo Comprehensive evaluation of substrate materials of contaminants removal in constructed wetlands para estudiar algunos de los sustratos que se pueden implementar en los humedales artificiales y algunos de los contaminantes que el sustrato remueve, la tesis “Desarrollo de un sustrato sintético que simula agua residual doméstica para fines de investigación” para saber las concentraciones típicas de los principales constituyentes de las aguas residuales domésticas, saber las fases del proceso de creación del sustrato, la norma alemana DIN 38412 para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre la metodología para la realización de aguas residuales sintéticas según los reactivos que menciona la norma, en las cantidades que menciona siguiendo el procedimiento y teniendo en cuenta los materiales que se necesitan, la metodología según Torres et al. (1996) para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre la metodología de preparación de sustrato sintético para generación de aguas residuales sintéticas, en esta metodología estaban los reactivos necesarios para macronutrientes, micronutrientes y para fracción orgánica, también los materiales que se van a usar para la realización de la metodología, la metodología propuesta por la universidad de valencia para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre la metodología para la composición del sustrato sintético para preparar agua sintética donde se nos proporcionan los reactivos a utilizar para la realización del agua sintética propuesta, los materiales a usar y el procedimiento, la metodología propuesta por la revista de didáctica ambiental para conocer, estudiar y diseñar un diagrama de flujo sobre la metodología para el sustrato sintético, donde obtuvieron reactivos y materiales para la realización de la propuesta, también se proporciona el procedimiento a seguir en dado caso se prepare con base a esa propuesta.

8.2 Caracterizar el agua residual proveniente de la cafetería.

Se caracterizó el agua residual proveniente de la cafetería de maestros de Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, las actividades diarias de esta cafetería constan de lo siguiente:

- Lavado de insumos para preparación de comida
- Lavado de utensilios de cocina previo a la preparación de comida y bebida
- Lavado de vasos previo a su uso
- Lavado de platos previo a su uso
- Lavado de utensilios de cocina post uso





- Lavado de vasos post uso
- Lavado de platos post uso

Para muestreo del efluente se utilizó la norma NMX-AA-003-1980 y también se estudió la NOM-001-SEMARNAT-2021

Se tomaron muestras de la cafetería de los maestros en los siguientes horarios:

- 10:00 hrs
- 12:00 hrs
- 14:00 hrs

El muestreo se almacenó en botes de vidrio y se refrigeraron para conservar las muestras al realizar los análisis.

Las muestras se introdujeron en viales para poder prepararla para la muestra de DQO, en el digester estaban a 150°C durante 2 hrs. Los análisis de las muestras nos dieron como resultados:

- Se hizo un análisis de solidos sedimentables mediante el cono Imhoff el cual nos dio como resultado durante 1 hr, 80 ml/L de solidos sedimentables.
- Se realizó una muestra de turbidez con el instrumento DR900 la cual nos arrojó 257 FAU
- Se realizó una muestra de solidos en suspensión con el instrumento DR900 la cual nos dio un resultado de 258 mg/L
- Se realizó una prueba de pH con el instrumento HQ40d que nos arrojó un resultado de pH de 8.59 a 21°C
- Se realizó una prueba de conductividad con el instrumento HQ40d el cual nos arrojó una conductividad de 1.204 ms/cm
- Se realizó una prueba de color con el instrumento DR900 la cual nos arrojó un valor de color de 272 Pt-Co





8.3 Seleccionar el vegetal que realizará la depuración:

La planta *Canna indica*, también conocida comúnmente como "achira" o "canna", es una planta acuática perenne que pertenece a la familia Cannaceae. Aunque a menudo se cultiva por sus atractivas flores y follaje, también se ha utilizado en aplicaciones de fitoremediación, incluido el tratamiento de aguas en humedales construidos. Aquí hay algunos aspectos sobre la *Canna indica* y sus beneficios en este contexto:

- **Tolerancia a Condiciones Húmedas:** La *Canna indica* es conocida por su alta tolerancia a condiciones húmedas y su capacidad para crecer en aguas poco profundas. Esto la hace adecuada para su uso en humedales construidos, donde puede prosperar en áreas con niveles variables de agua.
- **Proceso de Fitoremediación:** La fitoremediación es un proceso en el cual las plantas y sus microorganismos asociados ayudan en la eliminación, degradación o acumulación de contaminantes en el agua. La *Canna indica* contribuye a este proceso al absorber y acumular ciertos contaminantes a través de sus raíces y tejidos.
- **Remoción de Contaminantes:** La planta tiene la capacidad de extraer y acumular metales pesados y otros contaminantes del agua a medida que crece. Se ha observado que las raíces de la *Canna indica* pueden ser efectivas en la absorción de elementos como plomo, cadmio y otros contaminantes presentes en el agua.
- **Contribución al Tratamiento de Aguas Residuales:** En el contexto de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales, la *Canna indica* puede desempeñar un papel en la mejora de la calidad del agua al ayudar en la remoción de contaminantes, especialmente en sistemas donde se fomente la fitoremediación.
- **Estabilización del Suelo:** Además de su contribución al tratamiento del agua, la *Canna indica* puede desempeñar un papel en la estabilización del suelo en humedales construidos. Sus raíces pueden ayudar a prevenir la erosión y mejorar la estructura del sustrato.
- **Consideraciones Ambientales:** Es importante tener en cuenta las condiciones específicas del entorno y las características de los contaminantes presentes al seleccionar la *Canna indica* para un humedal construido. La efectividad de la planta puede variar según factores como la temperatura del agua y la concentración de nutrientes.





- **Integración Estética:** Además de sus beneficios funcionales, la Canna indica puede agregar un valor estético a los humedales construidos gracias a sus atractivas flores y follaje, lo que puede ser un aspecto importante en contextos urbanos o paisajísticos.

8.4 Diseño de todos los componentes y armado de un prototipo del humedal:

8.4.1 Tanque de igualación

Para el diseño del tanque de igualación se sabe que el consumo de agua durante el horario laboral de la cafetería es de 3 rotoplaces de 1100 litros, lo que nos da un caudal total de 3300 litros al día, la cafetería labora de las 8:00 hrs a las 18:00 hrs un total de 11 horas laborales. Se realizó una tabla para saber el caudal del agua que entrará al tanque de igualación representado en metros cúbicos por hora (m^3/h):

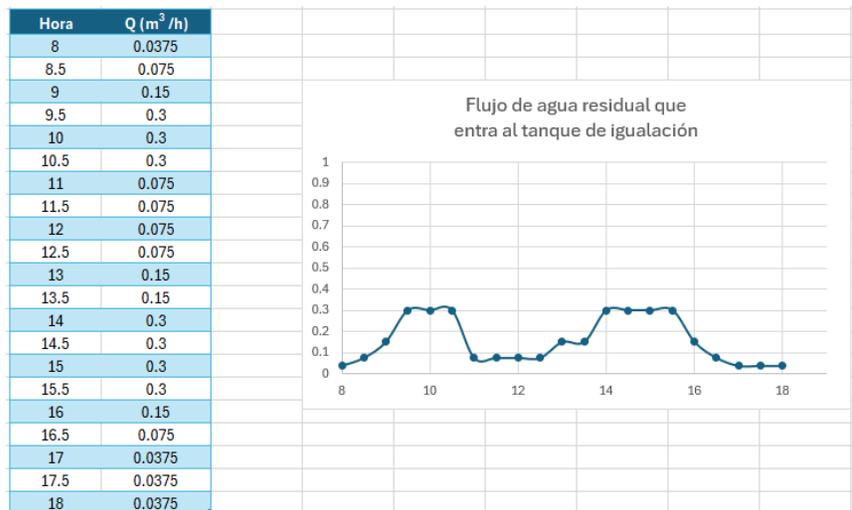


Tabla 1. Tabla de flujo de agua residual que entra al tanque de igualación
Fig. 2 Gráfica de flujo de agua residual que entra al tanque de igualación

Se realizó una tabla para saber el valor acumulado en el tanque representado en (m^3):



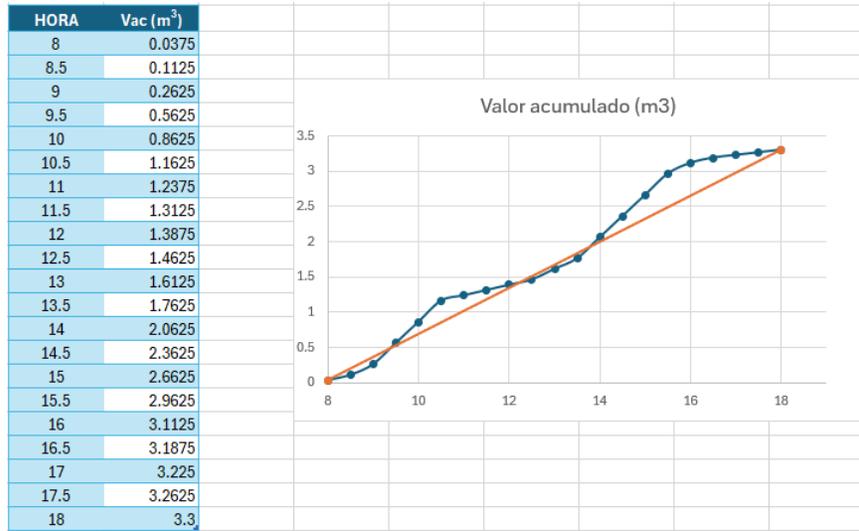


Tabla 2. Tabla de valor acumulado

Fig. 3 Gráfica de valor acumulado

El resultado de los cálculos para el tamaño del tanque de ignición para el agua será de 3000 litros con una profundidad de 2.5 metros de forma rectangular, el material se sugiere que sea de concreto reforzado o acero inoxidable.

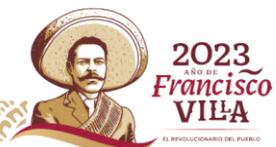
Tiempo de Retención:

Determinando el tiempo de retención necesario para el tratamiento efectivo del agua residual:

Dividiendo el volumen del tanque (3,000 litros) entre el caudal de entrada diario (300 L/h).

$$Tr = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{Caudal de entrada}} = \frac{3300 L}{300 L/h} = 11 hrs$$

8.4.2 Sedimentador





La sedimentación se utiliza para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que, aunque éste último tenga un movimiento ascendente y las partículas sólidas sedimenten, depositándose en el fondo de donde son eliminadas en forma de lodos.

Para el diseño del sedimentador se propusieron velocidades de sedimentación buscando un porcentaje de remoción del 80%, se utilizó el método del trapecio para las áreas inferiores la fórmula podría representarse como:

$$\text{Área inferior} = (a + b) \left(\frac{c - d}{2} \right)$$

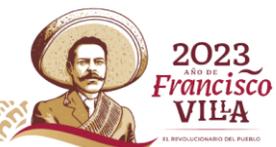
Dando como resultado las siguientes áreas inferiores:

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)
10	2	12
20	2.8	15
30	3.4	21
40	4	22.5
50	4.5	33
60	5.1	45.5
70	5.8	45
80	6.4	68
90	7.2	72.2
90.5	8	95.25
100	9	-

Tabla 3. Cálculo de áreas inferiores por el método del trapecio

El área del rectángulo para las áreas superiores de la cual su fórmula sería:

$$\text{Áreas superiores} = \% \text{ de remoción} * \text{velocidad de sedimentación}$$





Dando como resultado de la operación lo siguiente:

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)
10	2	12	20
20	2.8	15	56
30	3.4	21	102
40	4	22.5	160
50	4.5	33	225
60	5.1	45.5	306
70	5.8	45	406
80	6.4	68	512
90	7.2	72.2	648
90.5	8	95.25	724
100	9	-	900

Tabla 4. Cálculo de áreas superiores por el método de área del rectángulo

Realizando una sumatoria de todas las áreas inferiores:

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)	Σ Áreas inferiores (para Vc = B2, B3, B4...)
10	2	12	20	-
20	2.8	15	56	12
30	3.4	21	102	27
40	4	22.5	160	48
50	4.5	33	225	70.5
60	5.1	45.5	306	103.5
70	5.8	45	406	149
80	6.4	68	512	194
90	7.2	72.2	648	262
90.5	8	95.25	724	334.2
100	9	-	900	429.45

Tabla 5. Cálculo de áreas inferiores

Obteniendo el área bajo la curva con la fórmula:

$$\text{Área bajo la curva} = \text{áreas superior} - \text{área inferior}$$





% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)	∑ Áreas inferiores (para Vc = B2, B3, B4...)	Área bajo la curva
10	2	12	20	-	-
20	2.8	15	56	12	44
30	3.4	21	102	27	75
40	4	22.5	160	48	112
50	4.5	33	225	70.5	154.5
60	5.1	45.5	306	103.5	202.5
70	5.8	45	406	149	257
80	6.4	68	512	194	318
90	7.2	72.2	648	262	386
90.5	8	95.25	724	334.2	389.8
100	9	-	900	429.45	470.55

Tabla 6. Cálculo de área bajo la curva

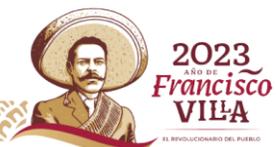
Calculando la remoción bajo la siguiente ecuación:

$$Remoción = \frac{A}{V_c} + (100 - p)$$

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)	∑ Áreas inferiores (para Vc = B2, B3, B4...)	Área bajo la curva	Remoción
10	2	12	20	-	-	-
20	2.8	15	56	12	44	95.71
30	3.4	21	102	27	75	92.06
40	4	22.5	160	48	112	88.00
50	4.5	33	225	70.5	154.5	84.33
60	5.1	45.5	306	103.5	202.5	79.71
70	5.8	45	406	149	257	74.31
80	6.4	68	512	194	318	69.69
90	7.2	72.2	648	262	386	63.61
90.5	8	95.25	724	334.2	389.8	58.23
100	9	-	900	429.45	470.55	52.28

Tabla 7. Cálculo de remoción

El resultado para la remoción nos indica que la velocidad crítica para el 80% es de 5.1 mm/s.





Calculando el área superficial del sedimentador:

Siendo:

$Q = 10 \text{ L/s}$

$V_c = 5.1 \text{ mm/s}$

$Q = V_c * A_s \text{ -----} \rightarrow A_s = Q / V_c$		
1.-	$A_s =$	3.921568627 m ²

Calculando el largo:

Siendo:

$A_s = 3.921568627 \text{ m}^2$

$b = 2 \text{ m}$

$A_s = b * L \text{ -----} \rightarrow L = A_s/b$		
	$b \text{ máx} =$	3 m
	$b \text{ usada} =$	2 m
2.-	$L =$	1.960784314 m

Calculando la altura:

Siendo:

$Q = 10 \text{ L/s}$

$V_h = 2 \text{ cm/s}$

$b = 2 \text{ m}$





	$At = b * H$ $Q = Vh * A \text{ ----> } Q = Vh * (b * H)$ $H = Q / (Vh * b)$	
3.-	H =	0.25 m

Calculando el tiempo de retención:

Siendo:

H = 0.25 m

Vc = 5.1 mm/s

	$H = Tr * Vc \text{ ----> } Tr = H / Vc$	
4.-	Tr =	0.136165577 h 8.169934641 min

8.4.3 Trampa de grasas

Para el diseño de la trampa de grasas se tomaron en cuenta cuatro grifos la unidad de gasto por cada grifo según la siguiente tabla de las especificaciones técnicas para el diseño de trampas de grasa:

Aparato Sanitario	Tipo	Unidad de Gasto (*)
Lavadero de cocina	Múltiple	2
Lavadero de repostería	Hotel restaurante	4
Lavadero de ropa		3

(*) Debe asumirse este número de unidades de gasto por cada grifo instalado en el lavadero.

Tabla 8. Unidades de gasto





Para el cálculo del caudal que va a entrar a la trampa se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum U}$$

Donde:

Q = es el caudal máximo en L/s

$\sum U$ = es la sumatoria de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

El volumen de la trampa se diseñará teniendo en cuenta un tiempo de retención de 2.5 a 3 minutos, para este caso se eligió **3 minutos**.



Fig. 2 Trampa de grasas

La relación comprendida en largo – ancho del área superficial de la trampa de grasa va comprendida en relación 2:1 a 3:2, para este caso se eligió una **relación 2:1**.

La profundidad no deberá ser menor a 0.80 m, para este diseño se utilizará una profundidad de **0.80 m**.

Para criterios de diseño se tomó en cuenta 4 grifos de lavado:





Grifos	U gasto	Total U
4	2	8
		$\sum u = 8$

El total de las unidades de gasto se calculan multiplicando la cantidad de grifos por las unidades de gasto que vienen en la tabla 8, después se realiza la sumatoria de todas las unidades de gasto.

Nuestro caudal se saca con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum U}$$

Donde:

Q = es el caudal máximo en L/s

$\sum U$ = es la sumatoria de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

El resultado de la realización de la ecuación anterior nos da un caudal:

Q=	0.848528137 L/s
----	-----------------

Para calcular el volumen se utilizó la siguiente ecuación:

Siendo:

$Q = 0.848528137$ L/s

$t = 180$ s (3 min)

$V = Q * t$	
t=	180 s
V=	152.7350647 L

Calculando el área de la trampa:

Siendo:

$V = 300$ L (volumen mínimo de diseño)





$L = 0.3 \text{ m}^3$
 $H = 0.8 \text{ m}$

$A = V / H$	
A =	0.375 m ²

Comprobando si la trampa cumple el área de largo y ancho:

$A = L * a$	
A =	0.4 m ²
A =	0.4 ≥ 0.375 CUMPLE
A =	0.4 m ²

Comprobando si cumple con la relación de longitud – ancho (debe de estar entre 1.5 y 2):

L: a =	2:1 O 3:2
L: a =	1.6 CUMPLE

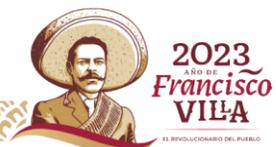
8.4.4 Humedal

Para el diseño del humedal se realizó con base a la propuesta de cálculos por parte del Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT):

En este modelo se calcula la constante de velocidad bajo la siguiente ecuación:

$$Kt = K_{20} * (1.06)^{(T - 20)}$$

Para una temperatura promedio de 19°C, el valor de K20 será el promedio de:





$$K_{20} = \frac{1.1 + 1.35}{2}$$

K ₂₀ =	1.155 día
-------------------	-----------

Sustituyendo los valores en la ecuación de Kt nos da como resultado:

Kt =	1.08962264 día
------	----------------

Para estimar el tiempo de retención hidráulica se procede con la siguiente ecuación:

Siendo:

Co = 450 mg/L

Ce = 20 mg/L

Kt = 1.08962264

$$Trh = - \frac{Ln(\frac{Ce}{Co})}{Kt}$$

Tenemos como resultado un tiempo de retención hidráulica de:

Trh =	2.85742531 días
-------	-----------------

Para el área superficial del humedal se aplica la ecuación:

Siendo:

Q = 10 m³/día

Trh = 2.85742531 días

h = 0.6 m

n = 0.37

$$As = \frac{Q * (TRH)}{(h) * (n)}$$





Dando un resultado para el área superficial del humedal de:

$$A_s = 128.378378 \text{ m}^2$$

Con el modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) es posible adaptar las dimensiones de largo y ancho, fijando una relación (R) adecuada como 1:3, es decir uno de ancho por 3 de longitud, se utiliza la siguiente ecuación para obtener las dimensiones:

Siendo:

$$A_s = 128.378378 \text{ m}^2$$

$$R = 3$$

$$W = \sqrt[3]{A_s/R}$$

El resultado de esta ecuación nos da:

$$W = 6.54162004 \text{ m}$$

Para obtener el largo del humedal se aplica la siguiente ecuación:

Siendo:

$$A_s = 128.378378 \text{ m}^2$$

$$W = 6.54162004 \text{ m}$$

$$L = \frac{A_s}{W}$$

Obteniendo como resultado un largo de humedal de:

$$L = 19.62 \text{ m}$$





8.5 Monitoreo del sistema:

Se realizó un monitoreo del sistema durante 8 semanas, las primeras cuatro semanas se estuvieron cuidando las plantas de algún robo o algún otro percance que pudiese haber pasado, se preparó fertilizante para poder estar regando las plantas para eliminar las bacterias, las plagas, los insectos o cualquier otro microorganismo dañino que tuviera, el método de preparación de fertilizante es:

1. Pesar 4 g de fertilizante en la báscula
2. Llenar un vaso de precipitado y aforarlo a 4 litros con agua
3. Pipetear 10 ml de ácido sulfúrico en un vaso de precipitado
4. Se vierte el fertilizante en el agua
5. Se agita hasta mezclar el fertilizante en el agua
6. Se mide el pH del fertilizante
7. Se le añade ácido sulfúrico hasta que el pH este en 5.7 (el rango puede oscilar de 5.6 a 5.8)
8. Verter los 4 L de agua en un bidón hasta llegar a los 20 L

También se estuvieron regando con raizal para poder hacer que estuvieran sanas para que las raíces de las plantas crecieran y fuesen más fuertes, de igual manera ayudaba a las plantas para crecer aún más, el procedimiento que se utilizó para la formulación de raizal es el siguiente:

1. Pipetear un vaso con 10 ml de ácido sulfúrico
2. Pipetear 1 ml de raizal por cada 1L de agua
3. Llenar el vaso de precipitado con agua y aforarlo a 4 litros
4. Poner los 4 ml de raizal en el vaso de 4 L de agua
5. Medir pH del raizal
6. Poner ácido sulfúrico en la mezcla hasta obtener un pH de 5.7 (el rango puede oscilar de 5.6 – 5.8)
7. Verter los 4 L de raizal en el bidón hasta llegar a los 20 L





8.6 Alimentación y salida del efluente:

Se instalaron válvulas manuales de tipo llave para el desagüe del agua tratada, para poder tomar la muestra del agua tratada al salir del humedal después del tiempo de retención.

GRAFICO DE LA LLAVE

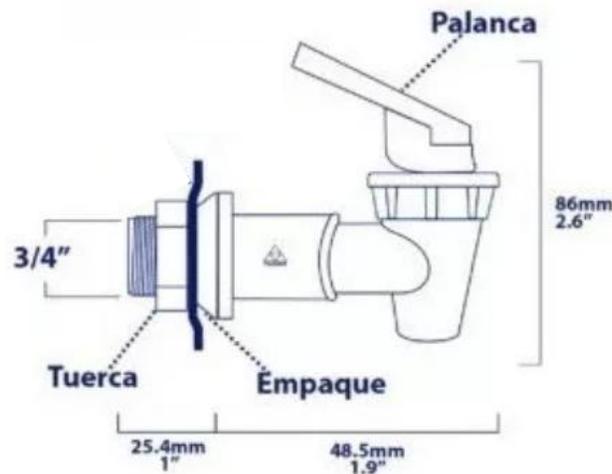


Fig. 3 Gráfica de la llave

La zona de alimentación está abierta para poder hacer una buena distribución en el humedal y que el agua residual pueda tener un mejor contacto con cada parte de este y así tener una mayor eficacia en la remoción.





Fig. 4 Humedal terminado





9. Resultados

Prototipo de humedal

Los materiales que se utilizaron para la construcción del prototipo del humedal fueron los siguientes:

- Un contenedor de plástico de 80 L.
- Grava de tipo marmolina blanca
- Válvulas manuales

La planta que se utilizó para la remoción de contaminantes fue la siguiente:

- Canna Indica

La planta llevó un monitoreo durante un mes y medio antes del trasplante al humedal, durante el mes y medio se estuvo regando con agua para sobrevivir, para ayudar a la hidratación y la absorción de nutrientes del suelo, se regó raizal para la fortificación de las raíces de las plantas, se regó fertilizante para quitar bacterias, plagas o insectos que tuviera la planta.

Al contenedor se le hizo una instalación de la válvula como caudal de salida para poder tomar la muestra de salida una vez pasada por el humedal y reposada durante el tiempo de retención que se tuvo pensado.

Se hizo un muestreo aleatorio para poder repartir las plantas de forma al azar y así no tener preferencia de organización y crear una ineficiencia de remoción. Antes del trasplante de las plantas se le introdujo la grava de tipo marmolina blanca para luego realizar el trasplante de las plantas, una vez realizado el trasplante, se le volvió a agregar grava de tipo marmolina blanca para sellar el trasplante y que las plantas quedasen enterradas.

Luego del trasplante se estuvieron regando con agua para poder hidratar las plantas y que pudiese sobrevivir al trasplante y las temperaturas a las que estarían.





Tanque de igualación

Para el diseño del tanque de igualación se sabe que el consumo de agua durante el horario laboral de la cafetería es de 3 rotoplaces de 1100 litros, lo que nos da un caudal total de 3300 litros al día, la cafetería labora de las 8:00 hrs a las 18:00 hrs un total de 11 horas laborales. Se realizó una tabla para saber el caudal del agua que entrará al tanque de igualación representado en metros cúbicos por hora (m^3/h):

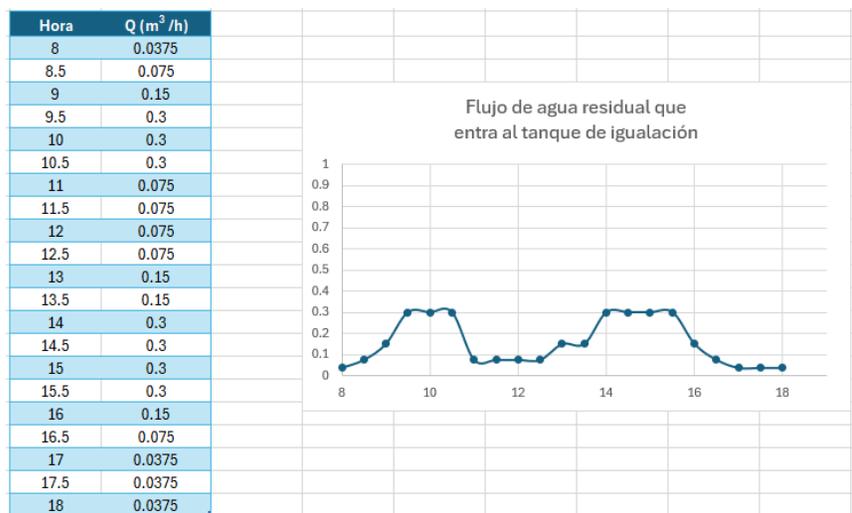


Tabla 1. Tabla de flujo de agua residual que entra al tanque de igualación
Fig. 2 Gráfica de flujo de agua residual que entra al tanque de igualación

Se realizó una tabla para saber el valor acumulado en el tanque representado en (m^3):



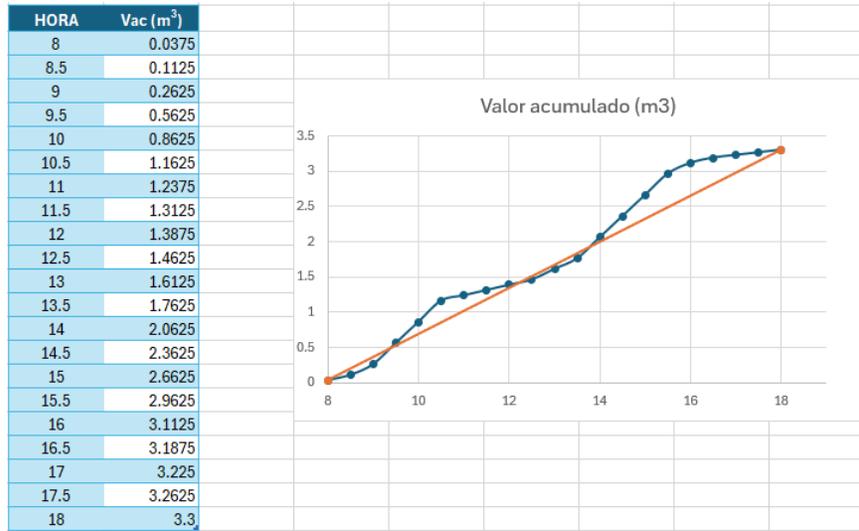


Tabla 2. Tabla de valor acumulado

Fig. 3 Gráfica de valor acumulado

El resultado de los cálculos para el tamaño del tanque de ignición para el agua será de 3000 litros con una profundidad de 2.5 metros de forma rectangular, el material se sugiere que sea de concreto reforzado o acero inoxidable.

Tiempo de Retención:

Determinando el tiempo de retención necesario para el tratamiento efectivo del agua residual:

Dividiendo el volumen del tanque (3,000 litros) entre el caudal de entrada diario (300 L/h).

$$Tr = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{Caudal de entrada}} = \frac{3300 L}{300 L/h} = 11 hrs$$

Sedimentador





La sedimentación se utiliza para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que, aunque éste último tenga un movimiento ascendente y las partículas sólidas sedimenten, depositándose en el fondo de donde son eliminadas en forma de lodos.

Para el diseño del sedimentador se propusieron velocidades de sedimentación buscando un porcentaje de remoción del 80%, se utilizó el método del trapecio para las áreas inferiores la fórmula podría representarse como:

$$\text{Área inferior} = (a + b) \left(\frac{c - d}{2} \right)$$

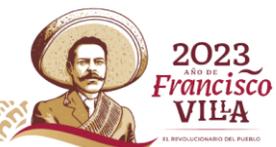
Dando como resultado las siguientes áreas inferiores:

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)
10	2	12
20	2.8	15
30	3.4	21
40	4	22.5
50	4.5	33
60	5.1	45.5
70	5.8	45
80	6.4	68
90	7.2	72.2
90.5	8	95.25
100	9	-

Tabla 3. Cálculo de áreas inferiores por el método del trapecio

El área del rectángulo para las áreas superiores de la cual su fórmula sería:

$$\text{Áreas superiores} = \% \text{ de remoción} * \text{velocidad de sedimentación}$$





Dando como resultado de la operación lo siguiente:

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)
10	2	12	20
20	2.8	15	56
30	3.4	21	102
40	4	22.5	160
50	4.5	33	225
60	5.1	45.5	306
70	5.8	45	406
80	6.4	68	512
90	7.2	72.2	648
90.5	8	95.25	724
100	9	-	900

Tabla 4. Cálculo de áreas superiores por el método de área del rectángulo

Realizando una sumatoria de todas las áreas inferiores:

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)	Σ Áreas inferiores (para Vc = B2, B3, B4...)
10	2	12	20	-
20	2.8	15	56	12
30	3.4	21	102	27
40	4	22.5	160	48
50	4.5	33	225	70.5
60	5.1	45.5	306	103.5
70	5.8	45	406	149
80	6.4	68	512	194
90	7.2	72.2	648	262
90.5	8	95.25	724	334.2
100	9	-	900	429.45

Tabla 5. Cálculo de áreas inferiores

Obteniendo el área bajo la curva con la fórmula:

$$\text{Área bajo la curva} = \text{áreas superior} - \text{área inferior}$$





% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)	∑ Áreas inferiores (para Vc = B2, B3, B4...)	Área bajo la curva
10	2	12	20	-	-
20	2.8	15	56	12	44
30	3.4	21	102	27	75
40	4	22.5	160	48	112
50	4.5	33	225	70.5	154.5
60	5.1	45.5	306	103.5	202.5
70	5.8	45	406	149	257
80	6.4	68	512	194	318
90	7.2	72.2	648	262	386
90.5	8	95.25	724	334.2	389.8
100	9	-	900	429.45	470.55

Tabla 6. Cálculo de área bajo la curva

Calculando la remoción bajo la siguiente ecuación:

$$Remoción = \frac{A}{Vc} + (100 - p)$$

% remoción	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Método del trapecio (Áreas inferiores)	Área rectángulo (Áreas superiores)	∑ Áreas inferiores (para Vc = B2, B3, B4...)	Área bajo la curva	Remoción
10	2	12	20	-	-	-
20	2.8	15	56	12	44	95.71
30	3.4	21	102	27	75	92.06
40	4	22.5	160	48	112	88.00
50	4.5	33	225	70.5	154.5	84.33
60	5.1	45.5	306	103.5	202.5	79.71
70	5.8	45	406	149	257	74.31
80	6.4	68	512	194	318	69.69
90	7.2	72.2	648	262	386	63.61
90.5	8	95.25	724	334.2	389.8	58.23
100	9	-	900	429.45	470.55	52.28

Tabla 7. Cálculo de remoción

El resultado para la remoción nos indica que la velocidad crítica para el 80% es de 5.1 mm/s.

Calculando el área superficial del sedimentador:





Siendo:

$$Q = 10 \text{ L/s}$$

$$V_c = 5.1 \text{ mm/s}$$

$Q = V_c * A_s \text{ -----} \rightarrow A_s = Q / V_c$		
1.-	$A_s =$	3.921568627 m ²

Calculando el largo:

Siendo:

$$A_s = 3.921568627 \text{ m}^2$$

$$b = 2 \text{ m}$$

$A_s = b * L \text{ -----} \rightarrow L = A_s/b$		
	$b \text{ máx} =$	3 m
	$b \text{ usada} =$	2 m
2.-	$L =$	1.960784314 m

Calculando la altura:

Siendo:

$$Q = 10 \text{ L/s}$$

$$V_h = 2 \text{ cm/s}$$

$$b = 2 \text{ m}$$





	$At = b * H$ $Q = Vh * A \text{ -----} \rightarrow Q = Vh * (b * H)$ $H = Q / (Vh * b)$	
3.-	H =	0.25 m

Calculando el tiempo de retención:

Siendo:

H = 0.25 m

Vc = 5.1 mm/s

	$H = Tr * Vc \text{ -----} \rightarrow Tr = H / Vc$	
4.-	Tr =	0.136165577 h 8.169934641 min

Trampa de grasas

Para el diseño de la trampa de grasas se tomaron en cuenta cuatro grifos la unidad de gasto por cada grifo según la siguiente tabla de las especificaciones técnicas para el diseño de trampas de grasa:





Aparato Sanitario	Tipo	Unidad de Gasto (*)
Lavadero de cocina	Múltiple	2
Lavadero de repostería	Hotel restaurante	4
Lavadero de ropa		3

(*) Debe asumirse este número de unidades de gasto por cada grifo instalado en el lavadero.

Tabla 8. Unidades de gasto

Para el cálculo del caudal que va a entrar a la trampa se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum U}$$

Donde:

Q = es el caudal máximo en L/s

$\sum U$ = es la sumatoria de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

El volumen de la trampa se diseñará teniendo en cuenta un tiempo de retención de 2.5 a 3 minutos, para este caso se eligió **3 minutos**.

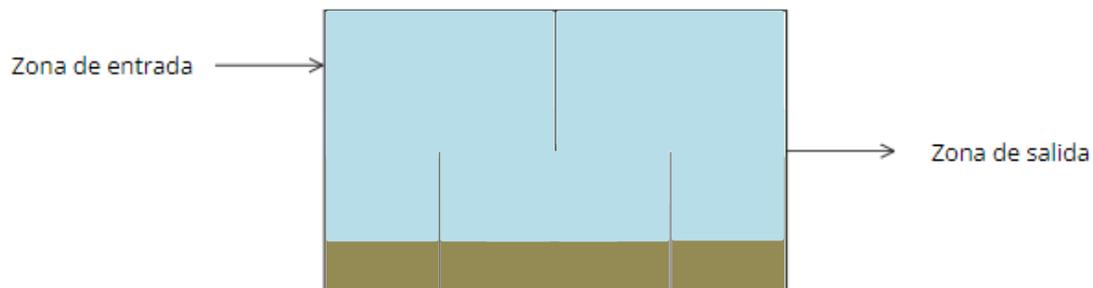


Fig. 2 Trampa de grasas





La relación comprendida en largo – ancho del área superficial de la trampa de grasa va comprendida en relación 2:1 a 3:2, para este caso se eligió una **relación 2:1**.

La profundidad no deberá ser menor a 0.80 m, para este diseño se utilizará una profundidad de **0.80 m**.

Para criterios de diseño se tomó en cuenta 4 grifos de lavado:

Grifos	U gasto	Total U
4	2	8
		$\sum u = 8$

El total de las unidades de gasto se calculan multiplicando la cantidad de grifos por las unidades de gasto que vienen en la tabla 8, después se realiza la sumatoria de todas las unidades de gasto.

Nuestro caudal se saca con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum U}$$

Donde:

Q = es el caudal máximo en L/s

$\sum U$ = es la sumatoria de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

El resultado de la realización de la ecuación anterior nos da un caudal:

$$Q = 0.848528137 \text{ L/s}$$

Para calcular el volumen se utilizó la siguiente ecuación:

Siendo:

$$Q = 0.848528137 \text{ L/s}$$





$t = 180 \text{ s (3 min)}$

$V = Q * t$		
$t =$	180 s	
$V =$	152.7350647 L	

Calculando el área de la trampa:

Siendo:

$V = 300 \text{ L}$ (volumen mínimo de diseño)

$L = 0.3 \text{ m}^3$

$H = 0.8 \text{ m}$

$A = V / H$		
$A =$	0.375	m^2

Comprobando si la trampa cumple el área de largo y ancho:

$A = L * a$		
$A =$	0.4	m^2
$A =$	$0.4 \geq 0.375$	CUMPLE
$A =$	0.4	m^2

Comprobando si cumple con la relación de longitud – ancho (debe de estar entre 1.5 y 2):

$L : a =$	2:1 O 3:2	
$L : a =$	1.6	CUMPLE

Humedal

Para el diseño del humedal se realizó con base a la propuesta de cálculos por parte del Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT):





En este modelo se calcula la constante de velocidad bajo la siguiente ecuación:

$$Kt = K20 * (1.06)^{(T - 20)}$$

Para una temperatura promedio de 19°C, el valor de K20 será el promedio de:

$$K20 = \frac{1.1 + 1.35}{2}$$

K20 =	1.155 día
-------	-----------

Sustituyendo los valores en la ecuación de Kt nos da como resultado:

Kt =	1.08962264 día
------	----------------

Para estimar el tiempo de retención hidráulica se procede con la siguiente ecuación:

Siendo:

Co = 450 mg/L

Ce = 20 mg/L

Kt = 1.08962264

$$Trh = - \frac{\ln\left(\frac{Ce}{Co}\right)}{Kt}$$

Tenemos como resultado un tiempo de retención hidráulica de:

Trh =	2.85742531 días
-------	-----------------

Para el área superficial del humedal se aplica la ecuación:

Siendo:





Q = 10 m³/día
Trh = 2.85742531 días
h = 0.6 m
n = 0.37

$$As = \frac{Q * (TRH)}{(h) * (n)}$$

Dando un resultado para el área superficial del humedal de:

$$As = 128.378378 \text{ m}^2$$

Con el modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) es posible adaptar las dimensiones de largo y ancho, fijando una relación (R) adecuada como 1:3, es decir uno de ancho por 3 de longitud, se utiliza la siguiente ecuación para obtener las dimensiones:

Siendo:

$$As = 128.378378 \text{ m}^2$$

$$R = 3$$

$$W = \sqrt[3]{As/R}$$

El resultado de esta ecuación nos da:

$$W = 6.54162004 \text{ m}$$

Para obtener el largo del humedal se aplica la siguiente ecuación:

Siendo:

$$As = 128.378378 \text{ m}^2$$

$$W = 6.54162004 \text{ m}$$





$$L = \frac{As}{W}$$

Obteniendo como resultado un largo de humedal de:

$$L = 19.62 \text{ m}$$





10. Conclusiones

La construcción y diseño de un humedal artificial emergen como empresas multidisciplinarias que amalgaman conocimientos técnicos, principios biológicos y un compromiso profundo con la sostenibilidad ambiental. A través de este proceso, se busca no solo purificar y restaurar cuerpos de agua, sino también fomentar un equilibrio ecológico armonioso y contribuir al bienestar de las comunidades circundantes.

La creación de un humedal artificial implica una cuidadosa planificación desde la concepción hasta la implementación. La comprensión de las características del agua, la selección adecuada de plantas, la consideración de las condiciones climáticas y la aplicación de principios de ingeniería ambiental son aspectos cruciales en la fase de diseño. Cada decisión tomada durante este proceso tiene implicaciones directas en la efectividad del humedal para purificar el agua y en su capacidad para integrarse armoniosamente en el entorno circundante.

A medida que se desarrolla la construcción, la experiencia se convierte en una inmersión tanto en desafíos técnicos como en la conexión profunda con la naturaleza. Desde la instalación de sustratos hasta la elección de plantas específicas, cada componente contribuye a la funcionalidad y al rendimiento sostenible del humedal. La resolución de problemas durante la construcción se convierte en una oportunidad para la innovación y el ajuste preciso, demostrando la necesidad de flexibilidad y adaptabilidad en el proceso.

El impacto ambiental positivo de un humedal artificial va más allá de la simple purificación del agua; se extiende a la creación de hábitats propicios para la vida silvestre, la conservación de la biodiversidad y la promoción de servicios ecosistémicos esenciales. La mejora en la calidad del agua contribuye no solo al equilibrio de los ecosistemas acuáticos, sino también al bienestar humano, al proporcionar recursos hídricos más seguros y al mitigar el impacto negativo de las aguas residuales.

La integración estética y la participación comunitaria también emergen como elementos cruciales. La cuidadosa selección de plantas no solo se guía por su capacidad para purificar el agua, sino también por su contribución a la belleza visual y la aceptación comunitaria. La educación y la participación de la comunidad son esenciales para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del humedal, fomentando el cuidado y la protección de este valioso recurso ambiental.

En última instancia, la construcción y diseño de un humedal artificial representan una expresión tangible de nuestro compromiso con la gestión sostenible del agua y la





preservación de los ecosistemas acuáticos. Estos proyectos no solo encapsulan la convergencia de ciencia y diseño, sino también la esperanza de un futuro donde la coexistencia armoniosa entre la humanidad y la naturaleza se convierte en un principio fundamental para la gestión responsable de nuestros recursos hídricos.





11. Experiencia personal adquirida

- **Aprendizaje Técnico:** Construir un humedal artificial implica adquirir conocimientos técnicos en ingeniería ambiental, biología y diseño de paisajes acuáticos. Puedes aprender sobre sistemas hidráulicos, selección de plantas, diseño de sustratos y otras consideraciones técnicas.
- **Interacción con la Naturaleza:** La construcción de un humedal artificial te brinda la oportunidad de interactuar directamente con la naturaleza. La selección de plantas nativas y la observación de la respuesta del ecosistema pueden ser experiencias enriquecedoras.
- **Solución de Problemas:** Durante la construcción, es posible que te encuentres con desafíos y problemas inesperados que requerirán soluciones creativas. La resolución de problemas es una habilidad valiosa que se puede desarrollar en el proceso.
- **Colaboración y Trabajo en Equipo:** Al trabajar en este proyecto junto a dos personas más la capacidad de trabajar en equipo y comunicarte efectivamente es fundamental.
- **Conciencia Ambiental:** Construir un humedal artificial puede aumentar tu conciencia ambiental y proporcionar una comprensión más profunda de los problemas relacionados con el agua y la biodiversidad. Esta experiencia puede influir en tu perspectiva sobre la gestión sostenible de recursos naturales.
- **Satisfacción Personal:** Ver cómo tu proyecto cobra vida y contribuye al tratamiento de aguas o a la conservación ambiental puede generar una gran satisfacción personal. El impacto positivo en el entorno y la comunidad puede ser una fuente de motivación y orgullo.
- **Educación Comunitaria:** La construcción de un humedal también puede brindar la oportunidad de educar a la comunidad sobre la importancia de los humedales, la conservación del agua y prácticas sostenibles. Compartir la experiencia puede inspirar a otros a participar en iniciativas similares.





12. Competencias desarrolladas y/o aplicadas

La construcción de un humedal artificial implica el desarrollo de varias competencias que abarcan diversos campos, desde ingeniería y biología hasta gestión ambiental y participación comunitaria. Se describen algunas de ellas a continuación:

Ingeniería Ambiental:

- **Diseño Hidráulico:** Habilidad para diseñar sistemas de flujo de agua que maximicen la eficiencia del tratamiento.
- **Conocimientos de Sustratos:** Comprensión de los sustratos adecuados para favorecer procesos biológicos y fisicoquímicos.

Biología y Ecología:

- **Selección de Especies Vegetales:** Identificación y selección de plantas acuáticas que contribuyan a la fitorremediación y estén adaptadas a las condiciones locales.
- **Comprensión de Procesos Biológicos:** Conocimiento de cómo los microorganismos y las plantas interactúan para mejorar la calidad del agua.

Química Ambiental:

- **Análisis de Calidad del Agua:** Habilidad para analizar la composición química del agua y determinar la presencia de contaminantes.
- **Comprensión de Procesos de Absorción y Adsorción:** Entendimiento de cómo ciertos sustratos y plantas pueden absorber y adsorber contaminantes.

Gestión Ambiental:

- **Planificación y Evaluación Ambiental:** Competencia en el desarrollo de planes que consideren los impactos ambientales y evalúen la sostenibilidad del proyecto.
- **Normativas y Permisos:** Conocimiento de las regulaciones ambientales y habilidad para obtener los permisos necesarios.

Habilidades Técnicas en Construcción:

- **Habilidades de Construcción:** Capacidad para llevar a cabo tareas de construcción, instalación de sustratos y sistemas hidráulicos.





- Mantenimiento de Infraestructuras Verdes: Habilidad para realizar tareas de mantenimiento y reparación de infraestructuras verdes.

Educación y Comunicación Comunitaria:

- Educación Ambiental: Habilidad para comunicar de manera efectiva los beneficios ambientales del humedal a la comunidad.
- Participación Comunitaria: Competencia en involucrar a la comunidad en el proceso de diseño, construcción y cuidado continuo del humedal.

Adaptabilidad y Resolución de Problemas:

- Adaptabilidad: Habilidad para ajustar el diseño y la operación del humedal según las condiciones ambientales cambiantes.
- Resolución de Problemas: Competencia en identificar y abordar problemas técnicos y operativos de manera eficiente.

Gestión de Proyectos:

- Planificación y Organización: Habilidad para planificar y organizar cada fase del proyecto de construcción del humedal.
- Gestión de Recursos: Competencia en gestionar recursos financieros, materiales y humanos de manera eficiente.

Conciencia Ambiental y Ética Profesional:

- Ética Ambiental: Desarrollo de una conciencia ética sobre el impacto ambiental y social de las decisiones tomadas durante el proceso de construcción y operación del humedal.

La construcción de un humedal artificial implica la convergencia de habilidades técnicas, científicas, ambientales y sociales. La integración de estas competencias es esencial para lograr el éxito en la implementación y operación sostenible de humedales artificiales.





13. Fuentes de información

Listado de normas consultadas:

NMX-AA-030/2-SCFI-2011

NMX-AA-045-SCFI-2001

NMX-AA-038-SCFI-2001

NMX-AA-008-SCFI-2016

NMX-AA-093-SCFI-2018

NMX-AA-003-1980

NOM-001-SEMARNAT-2021

Y. Wang, Z. Cai, S. Sheng, F. Pan, F. Chen, J. Fu, Comprehensive evaluation of substrate materials for contaminants removal in constructed wetlands, Science of the Total Environment (2019).

Dra. Heike Hoffmann, Dr.-Ing. Christoph Platzer, Dra.-Ing. Martina Winker, Dra. Elisabeth von Muench, Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment (Eschborn, febrero 2011).

Parrao López Leonardo Andrés, Diseño y Construcción de un Prototipo de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de aguas Residuales Domesticas (noviembre 2018).

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Especificaciones técnicas para el diseño de trampas de grasa (Lima, 2003).

Universidad de Salamanca, Aula virtual del agua, Módulo B5. Química del agua, Composición de aguas residuales.

Lozano Rivas William Antonio, Revista de Didáctica ambiental, Preparación, composición y uso de agua residual sintética para alimentación de reactores prototipo y laboratorio (junio, 2012).





Portillo Díaz Javier Mateo, Silva Moreno Oscar David, Preparación y composición de agua residual sintética para ser alimentada en vermifiltros a escala laboratorio.

Martínez Deusa Gina Mabel, Pascichaná Hernández César Arturo, Desarrollo de un sustrato sintético que simula agua residual doméstica para fines de investigación (Colombia 2019)

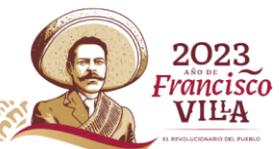




14. Anexos



Anexo 1. Muestreo al azar para el transplante de las plantas





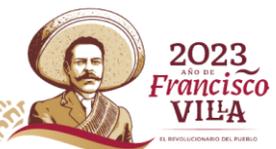
Anexo 2. Riego del humedal



Anexo 3. Riego del humedal



Anexo 4. Vista final del humedal después del trasplante de las plantas





Anexo 5. Vista final del humedal después del trasplante de las plantas



Anexo 6. Vista final del humedal después del trasplante de las plantas

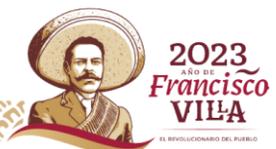




Anexo 7.
Trasplante de las plantas

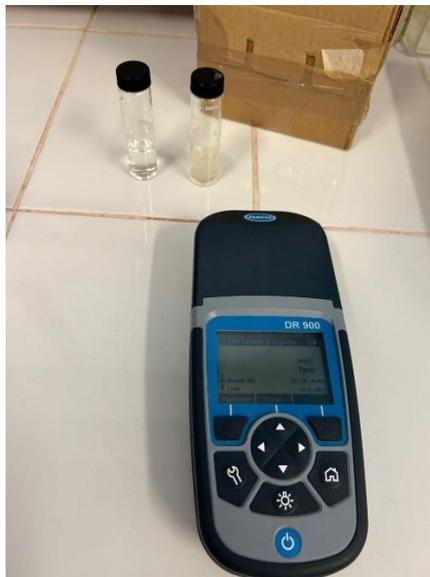


Anexo 8.
Introducción de muestras
al digestor

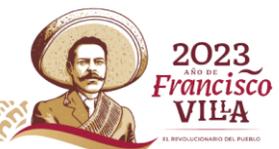




Anexo 9.
Análisis de sólidos
sedimentables



Anexo 10. Previo al análisis de colorimetría

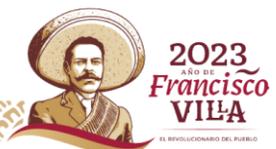




Anexo 11. Resultado del análisis de turbidez



Anexo 12. Resultado del análisis de sólidos en suspensión





Anexo 13. Resultado del análisis de pH



Anexo 14. Inicio del análisis de conductividad eléctrica





Anexo 15. Resultado final del análisis de conductividad



Anexo 16. Resultado final de colorimetría

