



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES - ACATLÁN

**PROTOTIPOS ANAEROBIOS: UNA HERRAMIENTA
ÚTIL PARA LA REACTIVACIÓN DE LA PTAR DE LA
FES-ACATLÁN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

HIRAM ARREOLA JIMÉNEZ

ASESOR: **DR. OMAR REYES MARTÍNEZ**



Mayo 2023

Santa Cruz Acatlán, Naucalpan de Juárez, Estado de México.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

A mis padres

Por su comprensión, cariño y apoyo incondicional. Gracias por guiarme por el camino de la educación y el poder hacerme un hombre de bien, sus consejos y enseñanzas.

A mis hermanos

Por estar siempre a mi lado y apoyarme como amigo.

A la familia Medina Jiménez

Por todo su apoyo y hacer amena mi estancia y menos complicada mi adaptación a la ciudad.

A mis amigos de la Facultad

Por todo su apoyo y las alegrías a lo largo de toda la carrera.

Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciendo a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de ella y darme la formación necesaria para cumplir con mis proyectos y sueños.

A la Facultad de Estudios Superiores Acatlán por recibirme y así formar parte de mí, como mi segundo hogar.

Al coordinador de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, el Dr. Felipe Cruz Díaz, que bajo su administración y a través del Departamento de Tecnología Ambiental a cargo de la Ing. Leydi Rubí Pérez Vera, pude realizar satisfactoriamente este proyecto en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

A mi asesor, el Dr. Omar Reyes Martínez, por permitirme ser parte del gran equipo de investigación, por todo su apoyo, paciencia y consejos para llevar a cabo el proyecto.

ÍNDICE

I.	RESUMEN.....	6
II.	INTRODUCCIÓN.....	7
III.	OBJETIVOS.....	9
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	9
	CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO.....	10
1.1.	Panorama del agua residual en México.....	11
1.2.	Agua residual, doméstica, industrial y urbana.....	12
1.3.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	12
1.3.1.	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en México.....	12
1.4.	Tratamiento de agua residual.....	13
1.5.	Tratamiento anaerobio y Tipos de reactores.....	14
1.5.1.	Tipos de reactores anaerobios.....	16
1.6.	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	17
1.6.1.	Principios del proceso.....	19
1.7.	Reactivación de PTAR.....	21
1.7.1.	Principios en la reactivación de una PTAR.....	21
1.7.1.1.	Composición de las aguas residuales.....	21
1.7.1.2.	Propiedades físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	21
1.8.	Parámetros de medición y control.....	23
1.8.1.	Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (DBO ₅ y DQO).....	23
1.8.2.	Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Volátiles (SSV).....	24
1.8.3.	Índice volumétrico de lodos (IVL).....	24
1.9.	Uso de Prototipos.....	24
	CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍA.....	26
2.1.	Implementación de Prototipos.....	27
2.1.1.	Montaje, verificación de fugas y llenado de prototipos.....	27
2.1.2.	Implementación de instrumental de control (Bombas y Válvulas).....	28
2.2.	Seguimiento de Parámetros.....	29
2.2.1.	Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	29

2.2.2.	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	30
2.2.3.	Obtención del Inventario de Lodos.....	30
2.2.3.1.	Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Volátiles (SSV)...	31
2.2.3.2.	Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL) y Perfil de Sedimentación.....	31
2.2.4.	Medición de pH y Temperatura.....	32
CAPÍTULO 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		34
3.1.	Montaje y operación de prototipos.....	35
3.2.	Inventario de lodos.....	36
3.3.	Seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	38
3.4.	Seguimiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	42
3.5.	Seguimiento del pH y Temperatura en los Efluentes.....	44
V.	LOGROS OBTENIDOS CON EL PROYECTO.....	45
VI.	CONCLUSIONES.....	50
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	51

I. RESUMEN.

Durante la reactivación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán el uso de prototipos de flujo ascendente tipo UASB fue de suma importancia ya que permitió comprender el comportamiento del material biológico (lodo anaerobio) ante la variación de la carga orgánica, además, analizar el estado del lodo en el reactor de la PTAR permitió conocer la cantidad de material biológico y el estado que este guardaba y finalmente llevar a cabo el seguimiento de los parámetros de control del agua residual y del agua residual tratada permitió evaluar el funcionamiento del reactor en el tren de tratamiento, siendo este adecuado en virtud del tiempo detenido por la pandemia de SARS COV-2.

Los prototipos que se construyeron forman parte de un desarrollo previo de prototipo en la PTAR (plasmado en la tesis titulada “Prototipo de reactor UASB: Diseño, Construcción y Puesta en marcha de un reactor prototipo tipo UASB piloto” elaborada por Itzia Xiuhnelly Ocejo Pineda) y cuentan con las mismas características de diseño y los componentes de construcción: sistema de alimentación, manto de lodos biológicos, deflectores y un sistema de separación trifásico. Ambos prototipos se construyeron con tubo de PVC transparente para ver al interior y observar el funcionamiento. Fueron puestos en marcha con material biológico del reactor anaerobio de la PTAR y su única diferencia fue la variación de carga orgánica que se les dio en el afluente, dicha variación surge de la necesidad de entender el comportamiento de los lodos anaerobios presentes en el reactor de la PTAR y los prototipos sirven para realizar investigación y aportar información para la toma de decisiones en la reactivación y la operación de la PTAR de la FES Acatlán en el menor tiempo posible.

Para conocer el funcionamiento de los prototipos y el estado del reactor se realizó el seguimiento de parámetros de control y respuesta en afluentes, efluentes y el sistema biológico, estos parámetros incluyen entre otros; Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Temperatura, pH, Sólidos Suspendedos Totales (SST), y Volátiles (SSV), Índice Volumétrico de Lodos (IVL) e Inventario de Lodos, este último permitió establecer que el reactor anaerobio cuenta con material biológico, dato sumamente relevante para continuar con la reactivación.

II. INTRODUCCIÓN.

El agua es el recurso básico para garantizar la vida de todos los seres vivos del planeta. El acceso al agua, saneamiento e higiene es un derecho fundamental, y, sin embargo, miles de millones de personas de todo el mundo siguen enfrentándose a diario a enormes dificultades para acceder a los servicios más básicos.

El ser humano es el principal causante de la contaminación del agua. Más del 80 % de las aguas residuales resultantes de la actividad humana se vierten en los ríos o en el mar sin ningún tipo de tratamiento de agua, lo que provoca su contaminación.

¿Cómo solucionar el problema de contaminación? A través del tratamiento del agua residual, un proceso con operaciones de distintos tipos (físicos, químicos, físico-químicos o biológicos) cuyo objetivo es la eliminación y/o reducción de la contaminación o de las características no deseables de las aguas. El tratamiento de agua es cada vez más necesario debido a la escasez de agua potable y a la creciente necesidad de la población mundial. (Acciona, 2020).

Las autoridades de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES ACATLÁN-UNAM) atendiendo a su compromiso con la conservación del medio ambiente y en su papel como líder internacional en el ámbito educativo y de investigación, determinó realizar la construcción de una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) dentro de sus instalaciones con la finalidad de:

- Disminuir considerablemente la descarga de agua residual sin tratar al alcantarillado municipal, generada por la comunidad estudiantil.
- Disminuir el uso de agua potable para riego de áreas verdes. En su lugar, usar agua residual tratada.
- Contar con instalaciones de tratamiento demostrativas, para fines académicos, tanto para la comunidad estudiantil del Campus Universitario como para las otras dependencias de la UNAM
- Disponer los lodos tratados para mejoramiento de suelos para las áreas verdes. (IB Tech, 2017).

La pandemia provocada por el SARS-CoV-2 en marzo del 2020 hizo que la FES Acatlán suspendiera sus actividades, como consecuencia en la PTAR fue necesario detener el tren de tratamiento, quedando así por poco más de un año. Siendo el reactor anaerobio tipo UASB (por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blancket) el que más preocupación causó por estar sin operación, ya que poner en marcha este tipo de sistema biológico es muy costoso en cuanto a lo económico.

Por lo que una vez que las autoridades sanitarias y académicas permitieron el ingreso a las instalaciones se dio inicio a la reactivación de la PTAR, desarrollando actividades diversas para conocer el estado en el que se encuentra la planta, poniendo especial atención en el reactor anaerobio tipo UASB, debido a esta problemática el objetivo de este proyecto radica en la implementación de prototipos como una herramienta de estudio para la reactivación de la PTAR en la FES Acatlán.

Este proyecto de Tesis formó parte de un proyecto de investigación Institucional denominado “Programa de Apoyo a la Investigación para el Desarrollo y la Innovación (PAIDI)” y el proyecto con número **PAIDI 009/21** lleva por Nombre ***“Reactivación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Facultad. Efecto de la variación de la carga orgánica en los sistemas biológicos”***.

III. OBJETIVOS.

Objetivo general.

Implementación de prototipos como una herramienta de estudio para la reactivación de la PTAR de la FES Acatlán.

Objetivos particulares.

- Construcción y puesta en marcha de prototipos de reactor anaerobio tipo UASB.
- Evaluación del funcionamiento de los prototipos tipo UASB ante la variación de la carga orgánica en el agua residual afluyente.
- Seguimiento del estatus del reactor anaerobio de la PTAR y realizar comparaciones con los prototipos.

IV. JUSTIFICACIÓN.

El reactor anaerobio de la PTAR de la FES-Acatlán cuenta con un material biológico que tiene un bajo crecimiento ya que la literatura indica que el 90 % de la Materia Orgánica se convierte en gas metano (CH_4) y solo el 10 % en nuevas células, esto implica que una reactivación por mortandad del sistema biológico llevaría mucho tiempo y la opción de realizar una inoculación implica un gasto económico elevado.

Es por eso que se optó por darle seguimiento al estatus del reactor y al mismo tiempo implementar el uso de prototipos de reactor anaerobio como una herramienta de estudio para la reactivación de la PTAR en la FES Acatlán y así conocer el estado del material biológico que se encuentra dentro del reactor.

CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO

1.1. Panorama del agua residual en México.

En México, el agua ha sido reconocida como un asunto estratégico y de seguridad nacional, y se ha convertido en elemento central de las actuales políticas ambientales y económicas, así como un factor clave del desarrollo social. Lograr que todos los cuerpos de agua superficiales y subterráneos del país recuperen su salud, aporten caudales para satisfacer las necesidades de la población y contribuyan al crecimiento económico y calidad de vida de la población; requiere que se mantengan limpios, sin descargas de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas que los contaminen y afecten más allá de su capacidad natural de asimilación y dilución.

Los recursos hídricos en México, al igual que en el resto del mundo, se encuentran bajo una creciente presión. El crecimiento demográfico, la urbanización y el aumento en el consumo de agua en los hogares, la agricultura y la industria, han aumentado significativamente el uso global del agua. Los usuarios del agua y demás actores involucrados en el sector, siguen satisfaciendo sus necesidades sin tomar en cuenta el impacto sobre los demás. Las diferentes actividades productivas al generar desechos diversos, son las fuentes principales de contaminación de ríos, canales y lagos; lo que se traduce en la desaparición de la vegetación natural, así como en la muerte de peces y demás animales acuáticos. Por otra parte, la descarga directa a cuerpos de agua de las aguas residuales generadas en estas actividades, limita el uso del recurso para los diferentes usos productivos como el riego o la pesca artesanal; el consumo (agua potable) y recreación de contacto.

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

Ante esta problemática, el saneamiento de las aguas residuales adquiere más importancia para asegurar su recolección, transporte, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y la salud de la población. (De la Peña, Ducci, & Zamora Plascencia , 2013)

1.2. Agua residual, doméstica, industrial y urbana.

Aguas residuales son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. (NOM-003-SEMARNAT-1997, 1998)

Aguas residuales domésticas son las provenientes del uso particular de las personas y del hogar. (NOM-002-SEMARNAT-1996, 1998).

Las aguas residuales industriales son todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. (Zarza, 2017).

Las aguas residuales urbanas son resultado de la mezcla de aguas domésticas con residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. (ACUATECNICA, 2017)

1.3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Las plantas de tratamiento, también llamadas depuradoras, son instalaciones intermedias construidas entre una industria o una ciudad (con sus aguas servidas domiciliarias) y un ambiente acuático receptor. Su función específica consiste en tratar y transformar efluentes fabriles y /o urbanos químicamente complejos en sustancias simples que puedan ser captadas por las plantas verdes fotosintetizadoras, o bien retener elementos tóxicos para el ambiente. (Wais, 2004)

1.3.1. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en México.

De acuerdo con la información publicada en el año 2021 por el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) en México existen 5506 plantas de tratamiento de aguas residuales repartidas en los 32 estados que conforman la República Mexicana, de las cuales 2872 operan formalmente con un caudal tratado de 145.3 m³/s.

Los principales procesos de tratamiento de aguas residuales que se utilizan en México se distribuyen de la siguiente forma: filtros biológicos (3.8%), lagunas aireadas (4.2%),

lagunas de estabilización (10.3%), lodos activados (73.3%), primario avanzado (3.2%), reactor anaerobio de flujo ascendente (1.7%), otros (3.0%).

En cuanto al destino del agua tratada, la mayoría se descarga en cuerpos de agua (esteros, lagunas, ríos, arroyos, etc.), barrancas y grietas. Los usos principales son riego de áreas verdes y zonas agrícolas, reúso industrial e infiltración al subsuelo. (SINA, 2021)

1.4. Tratamiento de agua residual.

A lo largo de los años, se han desarrollado una gran variedad de métodos para el tratamiento del agua residual. En muchos casos, se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y de las características que deba tener al final del tratamiento.

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al medio ambiente. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. (Noyola Robles, Vega González , Ramos Hernández , & Calderón Mólgora , 2000).

El nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que puede estar determinado por alguna normatividad. A continuación, se describen someramente los distintos niveles de tratamiento.

Tratamiento preliminar:

El tratamiento preliminar de un agua residual, se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares. Ejemplo de ello, es la eliminación de componentes de gran y mediano volumen como ramas, piedras, animales muertos, plásticos, o bien problemáticos, como arenas, grasas y aceites. El tratamiento se efectúa por medio de cribas o rejillas, desarenadores, flotadores o desgrasadores. En ocasiones se emplean trituradores para reducir el tamaño de ciertos desechos y reincorporarlos al tratamiento.

Tratamiento primario:

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario.

Tratamiento secundario:

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Tratamiento terciario o avanzado:

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable. Por lo general, el tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico. (Noyola Robles, Norman-Sagastume, & Güereca, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2013).

1.5. Tratamiento anaerobio y Tipos de reactores.

El tratamiento anaerobio es una de las tecnologías más antiguas para estabilizar los residuos y aguas residuales principalmente para el tratamiento de residuos domésticos (aguas) en fosas sépticas, el tratamiento de lodos en digestores y para el tratamiento de lodos de depuradoras en plantas de tratamiento municipales.

El tratamiento anaerobio consiste en un proceso realizado por grupos bacterianos específicos que en ausencia de oxígeno transforman la materia orgánica en una mezcla de gases, fundamentalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), conocida como

biogás. La materia orgánica puede estar compuesta por residuos sólidos orgánicos o aguas residuales provenientes de las industrias con contenido de materia orgánica.

El proceso de digestión anaerobia para la generación de biogás se realiza normalmente en tanques cerrados denominados reactores y presenta beneficios económicos y ambientales como consecuencia de la producción de energía. Como producto de la degradación de la materia orgánica se obtienen: (i) biogás de elevado poder energético (ii) un lodo estabilizado que es el producto resultante del crecimiento microbiano generado como consecuencia del proceso de digestión, así como también de sólidos no digeridos que han sido estabilizados. Este lodo puede ser utilizado en agricultura o en la recuperación de suelos degradados que presenten carencia, especialmente de materia orgánica.

El proceso de producción de biogás puede esquematizarse en cuatro etapas principales, de acuerdo a lo mostrado por la Figura 1. Las poblaciones bacterianas involucradas en cada una de las etapas del proceso cumplen roles específicos y requieren condiciones ambientales apropiadas para su crecimiento y viabilidad.

La mantención y estabilidad de estas condiciones al interior de los reactores utilizados para digestión anaerobia representa, entonces, el desafío principal de toda la operación para este tipo de plantas.

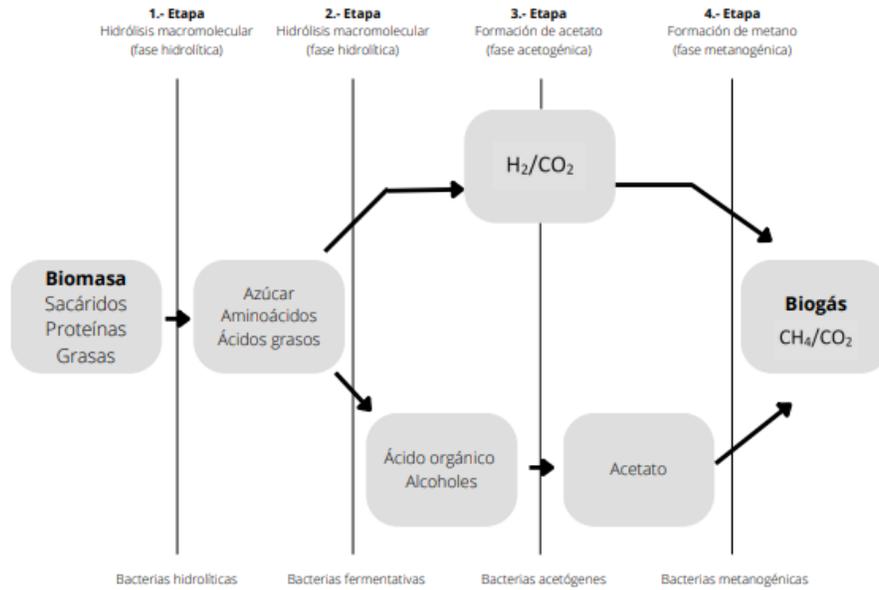


Figura 1. Las 4 etapas del proceso de digestión anaerobia. (Vivanco , Yaya, & Chamy, 2019)

El biogás producido por la descomposición microbiológica está compuesto principalmente de metano y de dióxido de carbono. Dependiendo de los contenidos de grasas, carbohidratos y proteínas de los distintos sustratos, la fracción de metano contenida en el biogás varía desde valores que van de 50 a 75%. (Vivanco , Yaya, & Chamy, 2019).

1.5.1. Tipos de reactores anaerobios.

Los reactores biológicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales pueden dividirse en dos grandes grupos con base en el tipo de crecimiento microbiano:

1. Reactores anaerobios de lecho fijo, formando biopelículas.
2. Reactores anaerobios de crecimiento libre o suspendido.

En los primeros la biomasa está constituida por bacterias formando una película sobre un soporte inerte, mientras que los segundos dependen de que los microorganismos formen gránulos o flóculos en el reactor. Las bacterias que crecen en suspensión deben

formar estructuras que las permitan permanecer en el reactor y no ser lavadas con el efluente, y la eficiencia del proceso depende en buena parte de la capacidad del inóculo (lodos/residuos) para formarlas. En la figura 2 se muestran los tipos de reactores anaerobios existentes.

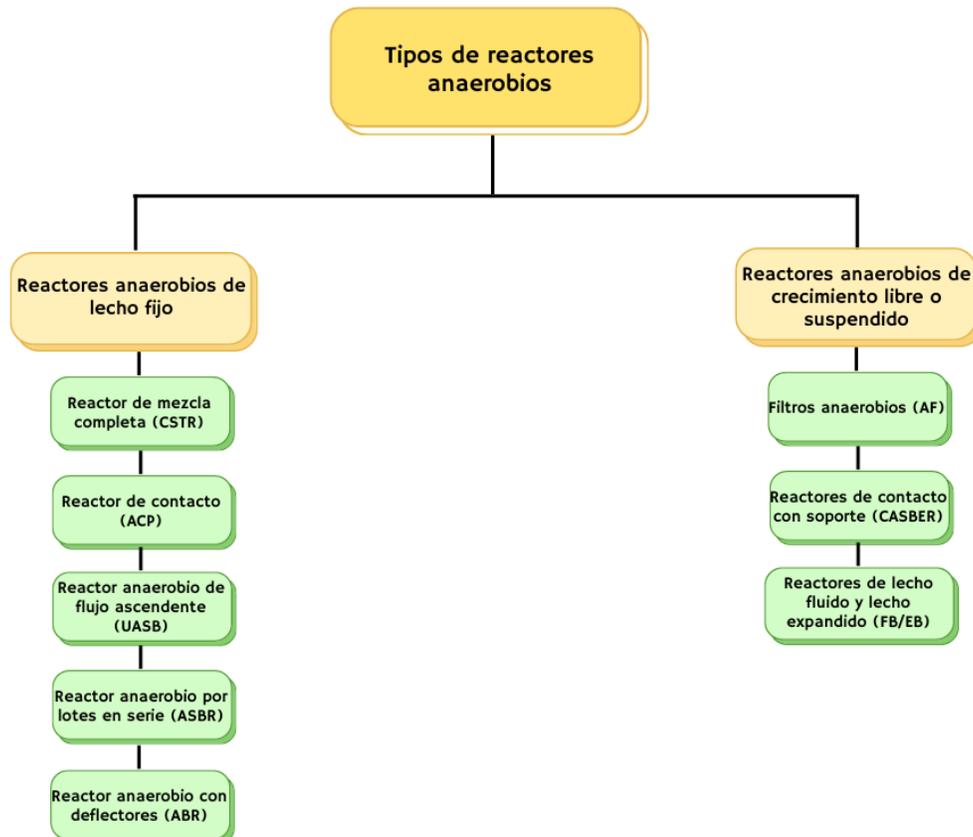


Figura 2. Esquema de tipos de reactores anaerobios.

1.6. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blancket).

El uso de reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas ya es una realidad en los países tropicales, especialmente en Brasil, Colombia e India. La experiencia exitosa en estos países es un fuerte indicio del potencial de este tipo de reactor para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El proceso anaeróbico a través de reactores UASB presenta varias ventajas en relación a los procesos aeróbicos convencionales, especialmente cuando se aplica en lugares de clima cálido, como la mayoría de los países en desarrollo. En estas situaciones, un sistema puede tener las ventajas siguientes:

- Sistema compacto, con bajos requerimientos de terreno.
- Bajos costos de construcción y operación.
- Baja producción de lodos.
- Bajo consumo de energía (solo para la estación de bombeo del afluente, cuando sea necesario).
- Eficiencias satisfactorias de eliminación de DQO y DBO, que ascienden a 65 a 75%.
- Alta concentración y buenas características de deshidratación del exceso de lodo.

Aunque los reactores UASB presentan muchas ventajas, todavía existen algunas desventajas o limitaciones:

- Posibilidad de liberación de malos olores.
- Baja capacidad del sistema para tolerar cargas tóxicas.
- Largo intervalo de tiempo necesario para la puesta en marcha del sistema.
- Necesidad de una etapa de post tratamiento.

En situaciones en las que las aguas residuales son predominantemente domésticas, la presencia de compuestos de azufre y materiales tóxicos suele presentarse en niveles muy bajos, siendo bien manejados por el sistema de tratamiento. Cuando está bien diseñado, construido y operado, el sistema no debe presentar problemas de mal olor y fallas debido a la presencia de elementos tóxicos y/o inhibidores.

La puesta en marcha del sistema puede ser lenta (4 a 6 meses), pero sólo en situaciones en las que no se utilicen lodos de siembra. En los últimos años, con el uso de metodologías de puesta en marcha bien fundamentadas y el establecimiento

de rutinas operativas adecuadas, se lograron avances significativos para reducir el período de puesta en marcha de los sistemas y minimizar los problemas operativos en esta fase.

El diseño de los reactores UASB es muy simple y no requiere la instalación de ningún equipo sofisticado o medio de empaque para la retención de biomasa.

A pesar del conocimiento acumulado sobre los reactores UASB, todavía no existen pautas claras y sistematizadas accesibles por los diseñadores para el diseño de estos reactores.

Es importante que los diversos criterios y parámetros de diseño de los reactores UASB se expresen de manera clara y secuencial, permitiendo dimensionar las cámaras de reacción, sedimentación y captura de gases. (De Lemos Chernicharo, 2007).

1.6.1. Principios del proceso.

El reactor se inocula inicialmente con cantidades suficientes de lodos anaerobios y poco después se inicia su alimentación a baja velocidad, en el modo de flujo ascendente. Este período inicial se denomina *puesta en marcha* del sistema, siendo la fase más importante de la operación del reactor. La velocidad de alimentación del reactor debe incrementarse progresivamente, de acuerdo con el éxito de la respuesta del sistema. Después de algunos meses de operación, un *lecho de lodos* altamente concentrado se desarrolla cerca del fondo del reactor. El lodo es muy denso y tiene excelentes características de sedimentación. El desarrollo de gránulos de lodos (diámetros de 1 a 5 mm) puede ocurrir, dependiendo de la naturaleza de los lodos de siembra, de las características de las aguas residuales y de las condiciones operativas del reactor.

Un área de crecimiento bacteriano más disperso, denominada manto de lodo, se desarrolla sobre el lecho de lodo, con sólidos que presentan concentraciones y velocidades de sedimentación más bajas. La concentración de lodos en esta zona suele oscilar entre el 1 y el 3%. El sistema se mezcla por el movimiento ascendente de las burbujas de biogás y por el flujo de líquido a través del reactor. Durante la puesta en

marcha del sistema, cuando la producción de biogás suele ser baja, puede ser necesaria alguna forma de mezcla adicional, como la recirculación de gas o efluentes. El sustrato se elimina por todo el lecho y el manto de lodo, aunque la eliminación es más pronunciada en el lecho de lodo.

Los lodos son arrastrados por el movimiento ascendente de las burbujas de gas, siendo necesaria la instalación de un separador trifásico (gases, sólidos y líquidos) en la parte superior del reactor, que permita la retención y retorno de los lodos. Hay una cámara de sedimentación alrededor y encima del separador trifásico, donde los lodos más pesados se eliminan de la masa líquida y se devuelven al compartimiento de digestión, mientras que las partículas más ligeras salen del sistema junto con el efluente final (ver Figura 3).

La instalación del separador de gases, sólidos y líquidos garantiza el retorno de los lodos y la alta capacidad de retención de grandes cantidades de biomasa de alta actividad, sin necesidad de ningún tipo de medio de relleno. Como resultado, los reactores UASB presentan altos tiempos de residencia de sólidos (edad del lodo), muy superiores a los tiempos de detención hidráulica, lo cual es una característica de los sistemas anaeróbicos de alta velocidad. Las edades de los lodos en los reactores UASB generalmente superan los 30 días, lo que lleva a la estabilización del exceso de lodos eliminado del sistema. (De Lemos Chernicharo, 2007).

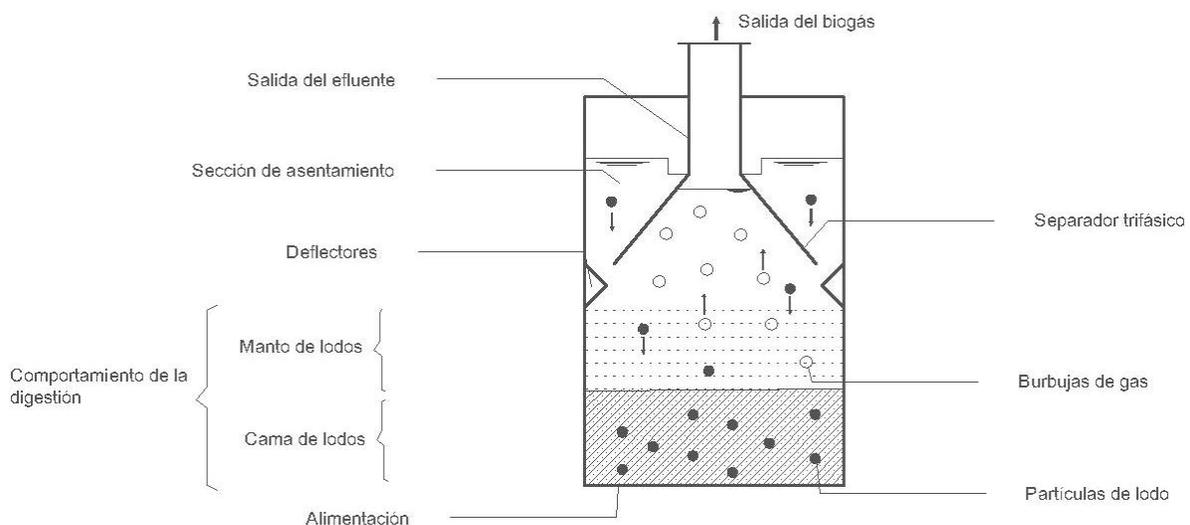


Figura 3. Dibujo esquemático de un reactor UASB. (De Lemos Chernicharo, 2007)

1.7. Reactivación de PTAR.

En el diseño o reactivación de una planta de tratamiento de aguas residuales se requiere el análisis de las condiciones y necesidades locales, junto con la aplicación del conocimiento científico, de la experiencia previa de ingeniería y de las normas de calidad del agua existente. (León, 2012).

1.7.1. Principios en la reactivación de una PTAR.

1.7.1.1. Composición de las aguas residuales.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. (León, 2012).

1.7.1.2. Propiedades físicas, químicas y biológicas del agua residual.

Propiedades físicas.

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. (Gálvez, Hernández, Luis, & Pichinte, Domingo, 2005)

Propiedades químicas.

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados:

1.- La materia orgánica. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre,

fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites.

2.- La medición del contenido orgánico. A lo largo de los años, se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. En general, los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 mg/L, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de los 0.001 mg/L a 1 mg/L. El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: (1) demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), (2) demanda química de oxígeno (DQO), y (3) carbono orgánico total (COT). El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas. (Gálvez, Hernández, Luis, & Pichinte, Domingo, 2005).

3.- La materia inorgánica. Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua. Conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

4.- Los gases presentes en el agua residual. Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. (Gálvez, Hernández, Luis, & Pichinte, Domingo, 2005).

Propiedades biológicas.

Dentro de las propiedades biológicas de las aguas residuales se encuentran:

1.- Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. La mayoría de los organismos pertenecen al grupo de las eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. (Gálvez, Hernández, Luis, & Pichinte, Domingo, 2005).

2.- Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.

3.- Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas que resultan difíciles de aislar e identificar. Por ello se emplea el grupo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. (Gálvez, Hernández, Luis, & Pichinte, Domingo, 2005).

1.8. Parámetros de medición y control.

1.8.1. Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (DBO₅ y DQO).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. (NMX-AA-028-SCFI-2001, 2001).

La Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación química total de constituyentes orgánicos a productos inorgánicos finales. (NMX-AA-030/1-SCFI-2012, 2012).

1.8.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Volátiles (SSV).

Sólidos Suspendidos Totales es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm secado y llevado a masa constante a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sólidos Suspendidos Volátiles son aquellos sólidos suspendidos que se volatilizan en la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. (NMX-AA-034-SCFI-2015, 2015).

1.8.3. Índice volumétrico de lodos (IVL).

Volumen ocupado por un gramo de lodos activados después de sedimentarse bajo condiciones específicas por un tiempo determinado, usualmente 30 minutos. (NMX-AA-089/1-SCFI-2010, 2010).

1.9. Uso de Prototipos

Un prototipo es un modelo (representación, demostración o simulación) fácilmente ampliable y modificable de un sistema planificado, probablemente incluyendo su interfaz y su funcionalidad de entradas y salidas. (Maner, 1997).

Principales características de los prototipos:

- ❖ Son herramientas de comunicación entre todos los componentes del equipo de desarrollo y los usuarios.
- ❖ Son herramientas de propósito general, pues sirven para comprobar la fiabilidad técnica de una idea, clarificar requisitos que quedaron «indeterminados» o ver cómo responde un sistema.
- ❖ Permiten evaluar el sistema desde las primeras fases del desarrollo.

- ❖ Son esenciales para la documentación, tanto de conceptos funcionales del sistema como de tareas concretas del mismo.
- ❖ Son el primer paso para que ideas abstractas sean concretas, visibles y testables.
- ❖ Mejoran la calidad y la completitud de las especificaciones funcionales del sistema. (MPIUA).

CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍA.

2.1. Implementación de Prototipos.

En la PTAR de la Facultad ya se contaba con un prototipo de reactor de este tipo, por lo que los parámetros de diseño solamente se siguieron aplicando en la construcción de los nuevos prototipos. Los prototipos se mantuvieron de forma tubular, pero ahora con tubería de PVC transparente con la finalidad de observar al interior lo que en ellos ocurría.

Los prototipos construidos cumplen con los componentes mínimos de un reactor tipo UASB: Forma de alimentación ascendente, Lecho o Cama de lodos, Deflector, Salida de efluente y Separador trifásico.

2.1.1. Montaje, verificación de fugas y llenado de prototipos.

Para el montaje se utilizó un par de tubos de PVC transparente de 6 pulgadas de diámetro y 1.20 metros de longitud, con un volumen útil de 20 L, y cuatro tapas de PVC. Al interior del tubo en la parte inferior se encuentra el sistema de alimentación construido con una placa de acrílico en forma circular con un diámetro de 6 pulgadas, esta placa fue perforada de forma equidistante y colocada a 4 cm de altura de la base del prototipo.

En la figura 4 se observa una de las actividades realizadas en la construcción de los prototipos, la perforación con un taladro de una de las tapas de PVC para la alimentación.



Figura 4.- Perforación de tapa de PVC.

En la parte superior de los prototipos fueron colocados los deflectores y separadores trifásicos. Los deflectores son de acrílico con una perforación al centro. Para los separadores trifásicos se utilizaron dos embudos de plástico colocados de manera invertida.

Al realizar el montaje de los prototipos se realizaron pruebas para verificación de fugas, llenando en su totalidad los prototipos con agua. Una vez hecha la verificación, los prototipos fueron vaciados y posteriormente se agregó material biológico del reactor anaerobio de la PTAR, el lodo ocupa un tercio del volumen del prototipo.

2.1.2. Implementación de instrumental de control (Bombas y Válvulas).

Fueron necesarias dos bombas dosificadoras de líquido peristáltica marca Grothen para la correcta y constante alimentación de los prototipos. La característica principal en este tipo de bombas es que de forma manual se puede controlar el flujo de agua.

2.1.3. Puesta en marcha de prototipos.

Para poner en marcha la alimentación de los prototipos se instalaron dos tanques con agua residual en su interior, el agua residual ocupada para este proyecto es la misma que se encuentra en el Tanque de Ecuilización obtenida de las descargas de la Facultad. Se dio seguimiento a parámetros de DBO_5 , DQO, SST, SSV, pH y Temperatura, así como también se le dio seguimiento al flujo.

2.2. Seguimiento de Parámetros.

Durante este proyecto, se realizó seguimiento tanto en el afluente como el efluente del reactor, así como de los prototipos, además se realizó también seguimiento en el material biológico.

2.2.1. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).

En la determinación de DBO_5 se utiliza el equipo OxiTop® IS6, el cual se conforma del siguiente material: frasco ámbar, Solución inhibidora de nitrificación, agitadores magnéticos, capuchón, perlas de hidróxido de sodio, parrilla de agitación magnética y cabezales digitales, también se cuenta con el OxiTop Box que es la incubadora donde se mantienen las muestras durante 5 días.

Para llevar a cabo el análisis se coloca el agitador magnético y se vierte una muestra de agua residual tratada en el frasco ámbar, enseguida se le agregan gotas de Solución inhibidora de nitrificación, posteriormente se coloca el capuchón y en el interior de este se agregan perlas de hidróxido de sodio, se programa el cabezal y se coloca en el frasco, por último, el frasco ámbar se coloca en el OxiTopBox con la parrilla de agitación magnética. En la figura 5 se muestra la preparación previa para iniciar el análisis de DBO_5 .



Figura 5.- Preparación de análisis de DBO_5 .

2.2.2. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para determinar este parámetro se colocan 2 mL de muestra en un vial de digestión, se agitan levemente para obtener una mezcla homogénea y el vial es colocado en un Termoreactor Orión COD165 que es programado a una temperatura de 150°C por 120 minutos, una vez transcurrido este tiempo se deja pasar un mínimo de 30 minutos más para que el vial se enfríe y se procede a realizar la medición de la DQO en el equipo AQUAFast AQ3700.

2.2.3. Obtención del Inventario de Lodos.

El inventario de lodos se lleva a cabo para conocer la cantidad de material biológico existente en el reactor anaerobio, así como en los prototipos. Para determinar esta cantidad es necesario conocer la masa total de los Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles, así como el Índice Volumétrico de Lodo, además con las muestras se puede obtener también un perfil de sedimentación que establece la calidad

del lodo (material biológico) para regresar al fondo del reactor y/o prototipos. En la figura 6 se presenta la toma de muestra de lodo del reactor anaerobio.



Figura 6.- Toma de muestra de lodo del Reactor Anaerobio.

2.2.3.1. Determinación de Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Volátiles (SSV).

Para obtener los SST y SSV se llevó a cabo el procedimiento detallado en la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015.

2.2.3.2. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL) y Perfil de Sedimentación.

El Índice Volumétrico de Lodo brinda información sobre el volumen que ocupa el lodo en el reactor. Para llevar a cabo el IVL se toman 50 mL de la muestra de lodo y se vierte en una probeta, posteriormente se afora a 250 mL con agua bidestilada y se

agita, finalmente se realiza la medición del volumen sedimentable una vez transcurridos 30 minutos. Para calcular el IVL se utiliza la ecuación 1.

$$IVL = \frac{V_{sed}}{M_{SST}} = \frac{ml}{g} \quad EC.1$$

Donde:

IVL= Índice Volumétrico de Lodos.

V_{sed} = Volumen sedimentable en 30 minutos (en mililitros).

M_{SST} = Masa de Sólidos Suspendidos Totales (en gramos).

El perfil de sedimentación brinda información sobre la capacidad de sedimentación del lodo al interior del reactor. Para llevar a cabo este perfil se toman 50 mL de muestra de lodo y se vierte en una probeta, posteriormente se afora a 250 mL con agua bidestilada y se agita. Con la ayuda de un cronómetro se va registrando el volumen que va sedimentando a tiempos marcados para obtener una gráfica de volumen sedimentado contra el tiempo transcurrido.

2.2.4. Medición de pH y Temperatura.

Estas mediciones se realizan tomando muestras del afluente y efluente del reactor anaerobio y de los prototipos. El equipo que se utiliza para llevar a cabo las mediciones es el potenciómetro HACH-HQ-30D (ver figura 7), previo a realizar la medición el equipo se debe calibrar con soluciones buffer de 4, 7 y 10. El potenciómetro genera una lectura rápida de pH y temperatura.



Figura 7. Potenciómetro HACH-HQ-30D.

CAPÍTULO 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Montaje y operación de prototipos.

El principal resultado es la obtención de dos prototipos de reactor UASB funcionales, en la figura 8 se presentan los prototipos de reactores que operan bajo condiciones similares a las del reactor anaerobio de la PTAR. Contar con este sistema de prototipos permitirá desarrollar proyectos enfocados al reactor de la planta y/o a proyectos en temas de tratamiento de aguas residuales en sistemas anaerobios. Los prototipos se montaron con un sistema de bombas dosificadoras, las bombas fungen como un sistema de control de alimentación de agua residual, en la figura 9 se muestra el tipo de bombas utilizadas, bombas peristálticas de la marca Grothen que dosificará 50 mL/L.



Figura 8. Sistema de prototipos anaerobios.



Figura 9. Bomba peristáltica Grothen.

3.2. Inventario de lodos.

Para llevar a cabo la reactivación de la PTAR de la FES Acatlán es indispensable conocer si el reactor anaerobio cuenta con material biológico además de saber la calidad del mismo para la correcta degradación de la materia orgánica que ingresa al reactor. El inventario de lodos permite calcular la cantidad de lodo en el reactor, y con base en el análisis realizado, el reactor cuenta con 3.5 toneladas de lodo, de las cuales 1.8 toneladas son de material biológico, estos valores se obtuvieron en función de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) respectivamente.

En las tablas 1 y 2 se presentan las relaciones de los análisis del inventario de lodos en diferentes ocasiones bajo condiciones de operación similares, considerando el análisis del mes de noviembre los promedios son los mencionados previamente, se puede entonces inferir que existe una cantidad considerable de material biológico para realizar la reactivación de la PTAR.

Tabla 1. Inventario de lodos en función de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Sólidos Suspendidos Totales	
Fecha	MT (ton)
21/10/2021	3.724464
26/10/2021	3.925392
28/10/2021	3.7178
08/11/2021	2.986479
Promedio	3.5885

Tabla 2. Inventario de lodos en función de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).

Sólidos Suspendidos Volátiles	
Fecha	MT (ton)
21/10/2021	1.973664
26/10/2021	2.341752
28/10/2021	1.625934
08/11/2021	1.580121
Promedio	1.8804

Una de las formas para saber si los prototipos son funcionales es saber si cuentan con material biológico, ya que a pesar de ser contruidos de tubo de PVC Transparente y se les agregó Lodo del reactor anaerobio pudiera ser que sea solamente material inerte, entonces, para ello fue necesario realizar un inventario de lodos, y con base en los análisis realizados se obtuvieron los siguientes promedios, el **prototipo 1** cuenta con **1.43 kg de lodo**, de los cuales **0.74 kg son de material biológico**, en cuanto al **prototipo 2** cuenta con **1.32 kg de lodo**, de las cuales **0.71 kg son de material biológico**, estos valores se obtuvieron en función de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) respectivamente.

En las figuras 10 y 11 se muestran las gráficas de los valores de la cantidad de material presente en los prototipos obtenido en diferentes días de bajo condiciones de operación similares en ambos prototipos.

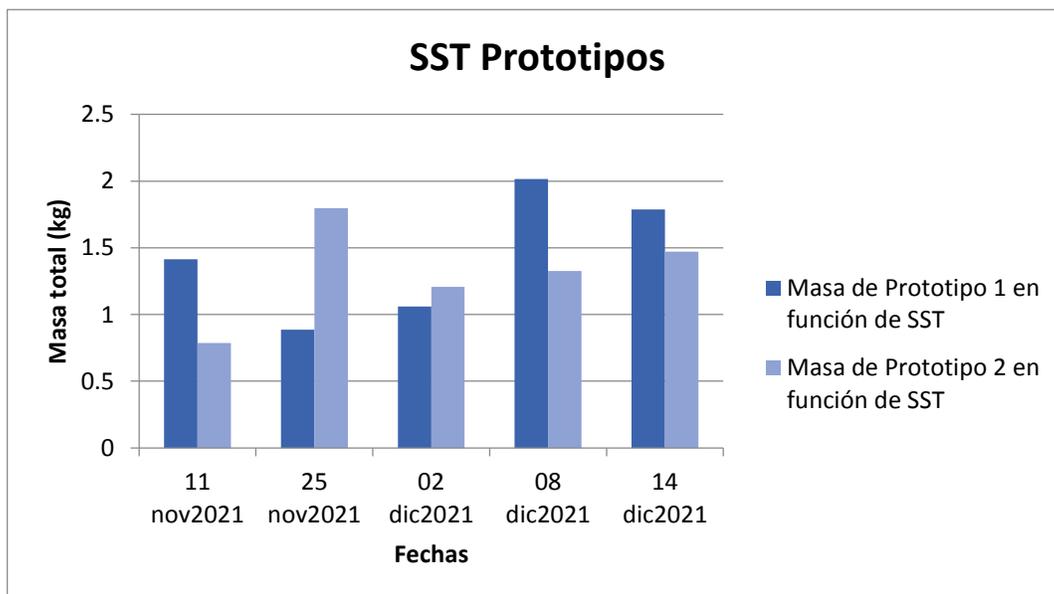


Figura 10. Inventario de lodos de los prototipos en términos de los SST.

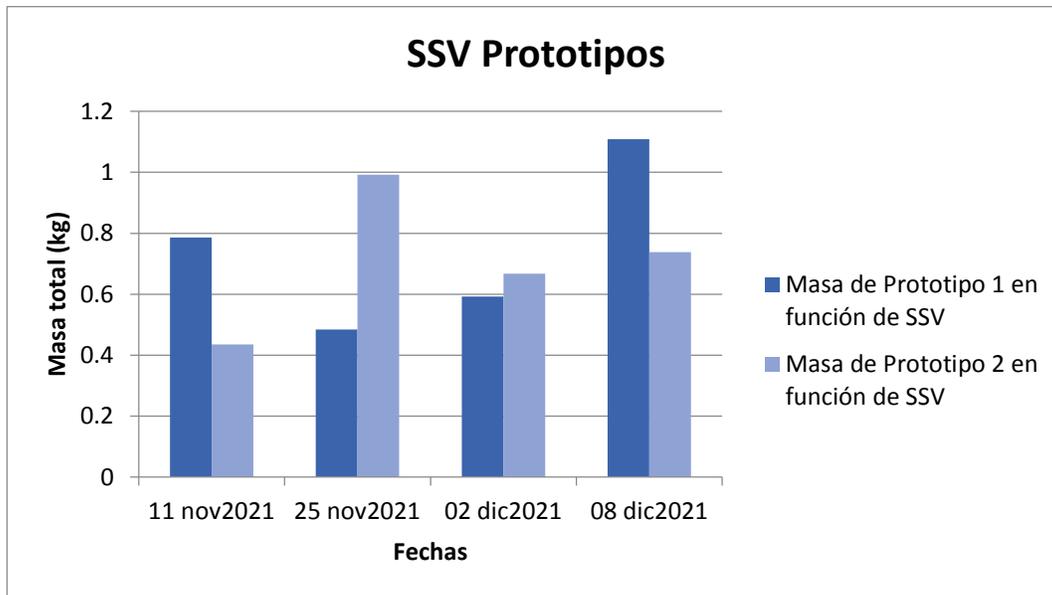


Figura 11. Inventario de lodos de los prototipos en términos de los SSV.

El **Índice volumétrico de lodos (IVL)** permite conocer que espacio ocupa el lodo en los prototipos, siendo **22.22 mL/g para el prototipo 1 y 18.77 mL/g para el prototipo 2**, el volumen que ocupa el material biológico en los sistemas es proporcional al volumen ocupado por el lodo en el reactor anaerobio de la PTAR FES Acatlán. El volumen del lodo en los sistemas no sobrepasa las 2/3 partes de su totalidad, lo que indica que no se ven afectados en su eficiencia.

3.3. Seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Durante la etapa experimental realizada en los meses de octubre a diciembre del año 2021 en la Facultad había pocas descargas de agua de los servicios de la Facultad, por ende, las variaciones en los valores de la carga orgánica fueron evidentes por tal motivo se presentan los valores más representativos.

Los prototipos obtenidos se desarrollaron con la finalidad de conocer el comportamiento del material biológico bajo condiciones distintas de operación. Para la primera etapa

(etapa 1) en los prototipos, el tanque de almacenamiento se llenó bajo las condiciones que a continuación se mencionan:

El tanque 1 se llenó solo con agua residual proveniente de las descargas de la facultad (200 litros de agua residual) y el tanque 2 se llenó hasta la mitad de agua residual (100 litros de agua residual) y el restante con agua potable (100 litros de agua potable). Para la segunda etapa **(etapa 2)** el tanque 1 se mantuvo solo con agua residual y el tanque 2 se llenó con 75 % (150 litros) de agua residual y el 25 % restante (50 litros) con agua potable.

El análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó para el reactor anaerobio de la PTAR (RAC-01) y para los prototipos. En las figuras 12 y 13 se muestran los valores de DQO al inicio del arranque de los prototipos y mediciones una vez que pasaron 24 y 48 horas de alimentación.

En la figura 12 se observa que los valores de la DQO en el afluente de los prototipos para la etapa 1 del desarrollo del proyecto y son como se esperaba debido a la dilución realizada, para el prototipo 1 que solo cuenta con agua residual el valor es de **223 mg/L** y para el prototipo 2 que es 50 % agua residual el valor de DQO es de **114 mg/L**, sin embargo, en ambos casos se llevó a cabo la degradación de la materia orgánica ya que existe una disminución de los valores finales siendo DQO de **34 mg/L y 13 mg/L** para los efluentes de los prototipos 1 y 2 respectivamente. Lo más relevante de estos resultados es que **la eficiencia de los prototipos se mantiene superior al 80 %, ya que para el prototipo 1 se alcanzó una eficiencia de 84.75 % y para el prototipo 2 una eficiencia del 88.59 %.**

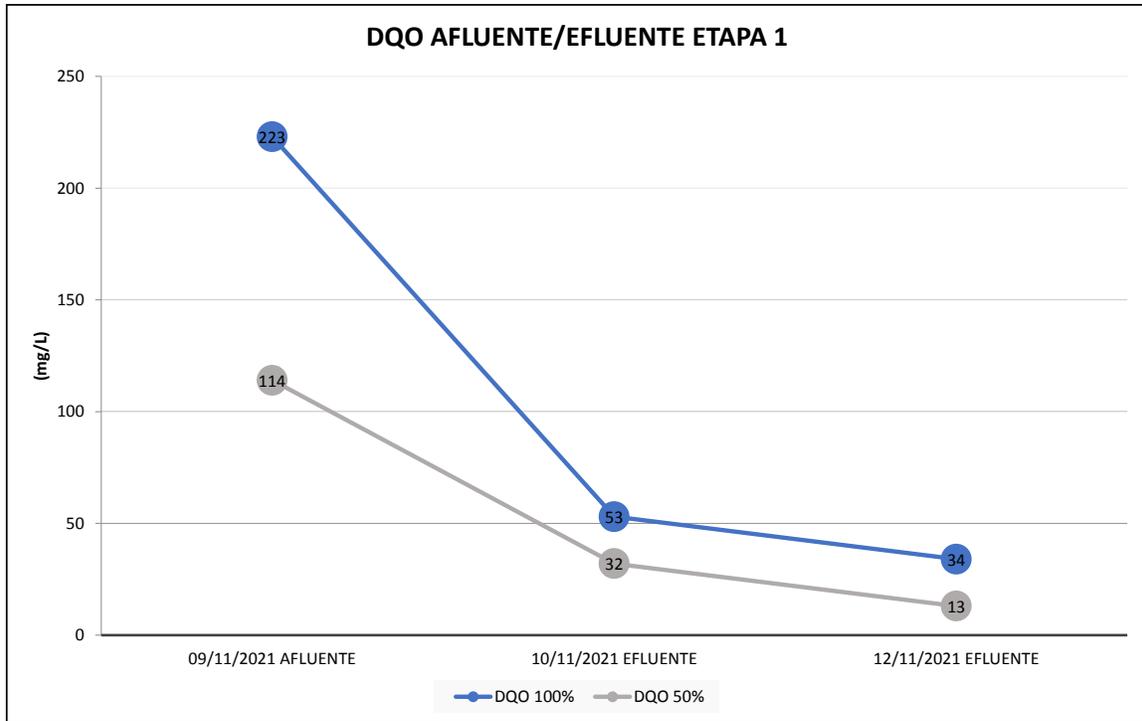


Figura 12. Seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno en la Etapa 1.

En la figura 13 se presentan los valores de DQO para la etapa 2 y se observa que aún hay degradación de la materia orgánica ya que el agua residual entra con valores de **146 mg/L y 105 mg/L** en los prototipos 1 y 2 y los valores de DQO de los efluentes son **36 mg/L y 41 mg/L**. En esta etapa **la eficiencia de los prototipos disminuyó de manera considerable siendo para el prototipo 1, 75.34 % y para el prototipo 2, 60.95 %**.

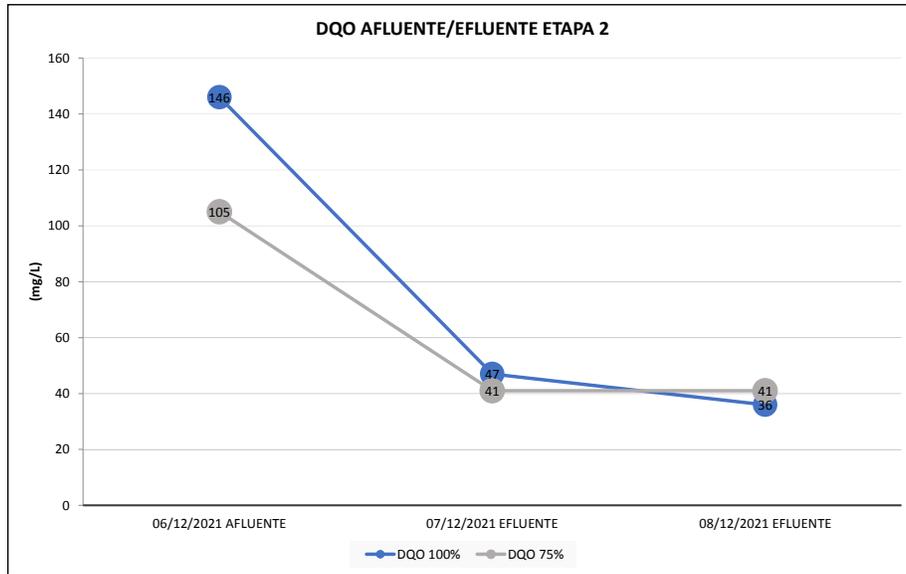


Figura 13. Seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno en la etapa 2.

Finalmente se muestra en la figura 14 dos valores medidos de la demanda química de oxígeno (DQO) medidos en el afluente y efluente del reactor con una diferencia de 6 días de operación, el valor de DQO del afluente es de **108 mg/L** y para el efluente se tuvo un valor de **41 mg/L**, **teniendo una eficiencia de 62.03 %**. Los prototipos presentan mayor eficiencia respecto al reactor de la PTAR y esto es correcto si se considera la cantidad de material biológico que hay en cada uno además del volumen que se manejó.

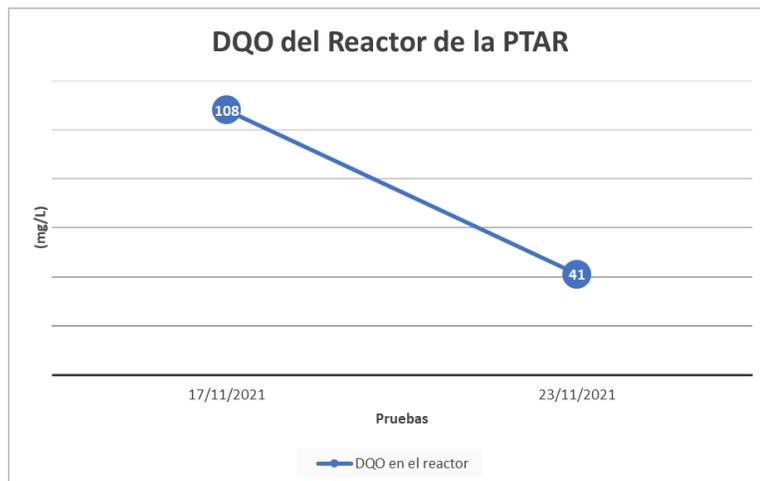


Figura 14. Demanda Química de Oxígeno en el Reactor de la PTAR.

3.4. Seguimiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

El seguimiento de la DBO₅ permitió corroborar el funcionamiento de los prototipos ya que en ambos sistemas se realizó el seguimiento durante 3 días de alimentación continua y se observan valores inferiores a los valores presentes en el afluente de cada prototipo. En la figura 15 en el segundo día de prueba se observa un aumento significativo con un valor de 40.8 mg/L y para el tercer día de prueba el valor final se encontró en valor inferior a **25 mg/L**, el aumento en el segundo valor fue debido a un error de toma de muestra ya que se tomó el efluente justo después de realizar la toma de muestra de lodo y esto afectó el comportamiento del sistema, sin embargo, se observa que una vez estabilizado el valor disminuye.

En la figura 16 se observa una variación considerable en los valores de los afluentes, sin embargo estos valores son adecuados ya que los tanques de alimentación fueron llenados en diferentes horarios y debido a que en la facultad las descargas no son continuas, esto afirma que la materia orgánica es diferente en diversos horarios, sin embargo, se observa que aún con esta variación los prototipos realizaron la degradación de manera adecuada ya que para ambos sistemas al tercer día de operación los valores estuvieron por debajo de los **30 mg/L**.

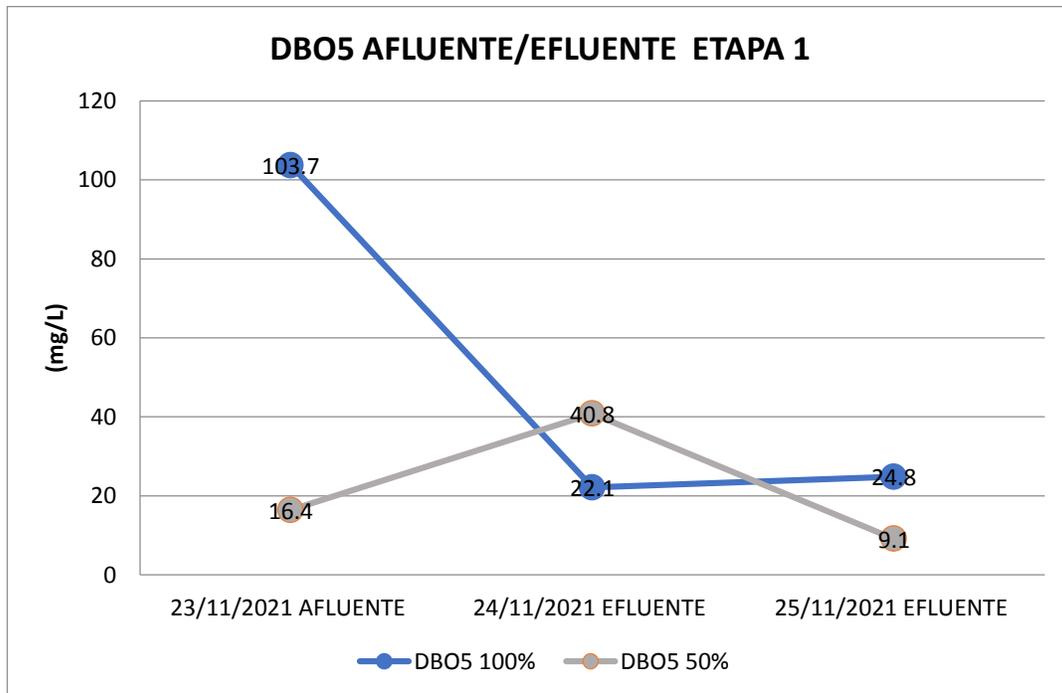


Figura 15. Demanda Bioquímica de Oxígeno Etapa 1.

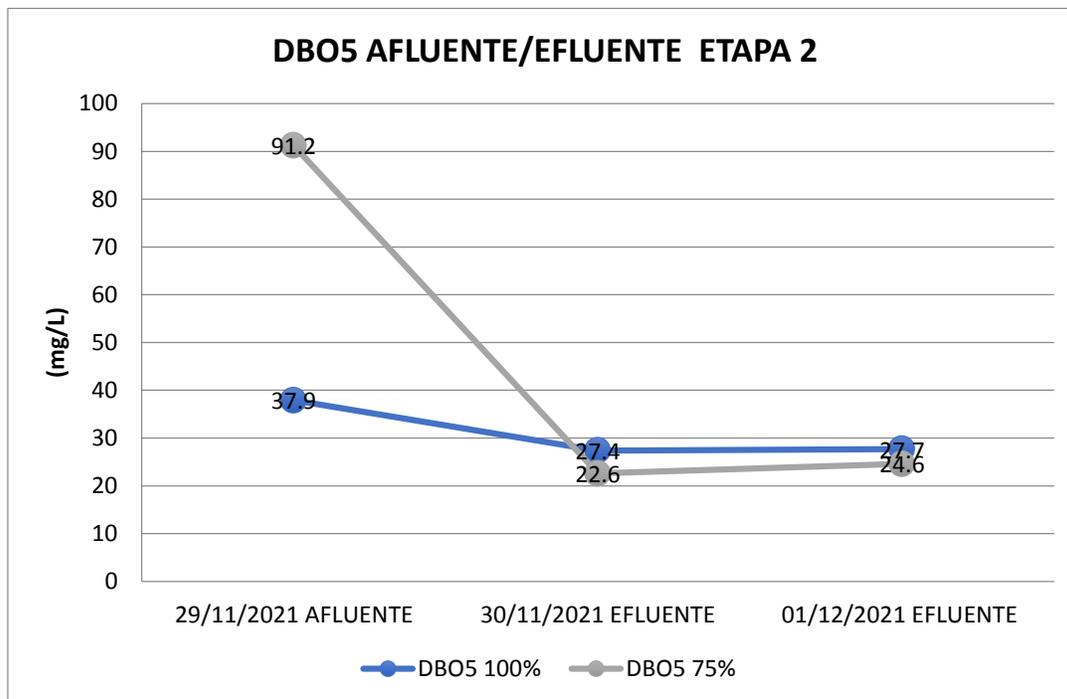


Figura 16. Demanda Bioquímica de Oxígeno Etapa 2.

3.5. Seguimiento del pH y Temperatura en los Efluentes.

En la figura 17 se presenta el seguimiento de los efluentes en la etapa 2, se observa que los valores se encuentran en un rango entre 7.12 y 8.01, lo que establece que el agua residual tratada se encuentra en valores esperados para este parámetro siendo en promedio **7.69** y **7.73** para 100 % y 75 % respectivamente. La temperatura en los efluentes se encontró en un rango entre **15.3 °C y 18.7 °C** y se establece que la degradación de la materia orgánica si se lleva a cabo como se presentó en las gráficas de DQO y DBO₅, aunque disminuida en la velocidad de generación de las etapas de degradación.

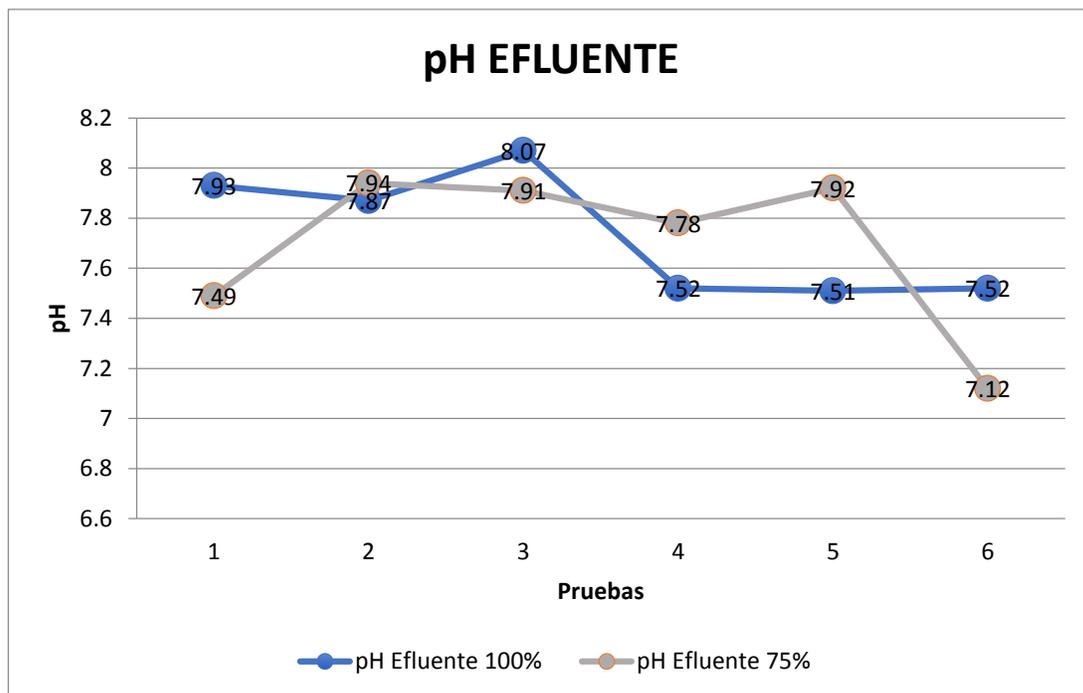


Figura 17.
Seguimiento del pH en el efluente de prototipos Etapa 2.

V. LOGROS OBTENIDOS CON EL PROYECTO

Se presentó el proyecto en el 1er Congreso Iberoamericano de Ciencia, Educación y Tecnología (Diciembre 2021) organizado por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la modalidad de presentación Cartel Científico, con el título de “Reactivación del Reactor Anaerobio de la PTAR de la FES-Acatlán”. Dicho congreso se llevó a cabo del 7 al 10 de diciembre del 2021 de manera virtual. Para presentar el trabajo se realizó un video de 3 minutos de duración explicando en que consiste el proyecto brindando cada elemento del cartel científico y explicando los resultados obtenidos, así como el impacto logrado con este proyecto que cabe mencionar formó parte de un proyecto institucional desarrollado por el Dr. Omar Reyes Martínez.



Como resultado del cartel presentado y el video donde se explicó el proyecto, se obtuvo el 3er lugar en el concurso de carteles en modalidad Cartel Científico en el área de Ciencias de la Ingeniería Físico Matemáticas en el 1er Congreso Iberoamericano de Ciencia, Educación y Tecnología (Diciembre 2021) organizado por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México.

3^o Lugar
CONCURSO DE CARTELES

1^{ER} CONGRESO IBEROAMERICANO DE CIENCIA, EDUCACIÓN Y TECNOLOGÍA
(durante 6 años consecutivos Congreso de Ciencia, Educación y Tecnología)

3^{ER} ENCUENTRO DE BUENAS PRÁCTICAS DOCENTES
en ciencia, humanidades y tecnología

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO a:
**D. Abigail Cortes Rodríguez, A. Karen Zarazua Zapien,
Hiram Arreola Jiménez, Liz Norma Flores Azcanio,
Leydi Rubi Pérez Vera, Omar Reyes Martínez.**

Por la presentación de su trabajo en modalidad CARTEL CIENTÍFICO en el área de **CIENCIAS DE LA INGENIERIA FÍSICO Y MATEMÁTICAS:**
"REACTIVACIÓN DEL REACTOR ANAEROBIO DE LA PTAR DE LA FES-ACATLÁN" presentado en el
Ter Congreso Iberoamericano de Ciencia, Educación y Tecnología en el marco del 3er Encuentro de Buenas Prácticas Docentes
Cuautitlán Izcalli, Estado de México a 10 de diciembre de 2021

Alma L. Revilla V.
Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez
Jefa de la División de Ciencias Químico-Biológicas
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

The certificate features a decorative border with various scientific icons such as beakers, test tubes, and chemical structures. It also includes the logos of the organizing institutions and the names of the awarding faculty members.

Gracias al trabajo presentado, así como la obtención del 3er lugar en la modalidad de carteles, la Facultad de estudios Superiores de Acatlán decidió difundir el logro obtenido y se tuvo una entrevista que fue publicada el 3 de marzo del 2022 en el Boletín informativo de la Facultad (notiFES).

ACADEMIA

[f unamacatlan](https://www.facebook.com/unamacatlan)
[@FES_ACATLAN](https://twitter.com/FES_ACATLAN)
[@ /fes_acatlan](https://www.instagram.com/fes_acatlan)
[/UNAMAcatlan](https://www.youtube.com/UNAMAcatlan)

Estudiante de ingeniería obtiene tercer lugar en concurso de carteles

Hiram Arreola Jiménez y dos estudiantes del TESCO fueron reconocidos por su trabajo



Hiram Arreola Jiménez, estudiante de licenciatura de Ingeniería Civil en la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, obtuvo el tercer lugar en el concurso de carteles del *1er Congreso Iberoamericano de Ciencia, Educación y Tecnología* y el *3er Encuentro de Buenas Prácticas Docentes en Ciencia Humanidades y Tecnología*, convocados por la FES Cuautitlán.

Residuales (PTAR) de Acatlán, lo que posteriormente lo motivó a participar en este concurso junto con dos alumnas del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), quienes también realizaron sus estancias en la PTAR.

Los tres estudiantes elaboraron el cartel *Reactivación del reactor anaerobio de la PTAR de la FES Acatlán*, con el que obtuvieron ese tercer puesto en la categoría de *Ciencias de la Ingeniería Físico y Matemáticas*. PP 2-3

Arreola Jiménez realizó su servicio social en la Planta de Tratamiento de Aguas

ACADEMIA

¡No lo tires, reúsalo!

Se invita a la comunidad universitaria a participar en el *Papelotón 2022* y reunir la mayor cantidad de papel y cartón para reciclaje

Como parte de las actividades que organiza la Red de Responsabilidad Social de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, dio inicio el *Papelotón 2022*, que tiene como objetivo recolectar la mayor cantidad de papel y cartón que será destinado para el reciclaje hasta el 18 de marzo, día en que concluirá esta actividad que busca ayudar al medio ambiente. P 4



Reanudan actividades al grito de gol P 5

Los Talleres Culturales muestran su gran oferta P 7

Estudiante de ingeniería obtiene tercer lugar en concurso de carteles



En entrevista, Arreola Jiménez expresó que uno de los principales retos que enfrentó al realizar el cartel fue la síntesis de información del proyecto, en especial por tratarse de un recurso más visual. Destacó que el trabajo en equipo fue fundamental para librar dicho obstáculo, pues los ayudó a conjuntar puntos de vista y compartir ideas con un objetivo común que se vio reflejado en la obtención del tercer puesto.

"Me siento orgulloso porque fue un poco complejo el regreso; soy foráneo

y tomar la decisión de regresar a la ciudad en medio de la pandemia fue

importante", expresó el universitario sobre el hecho de obtener ese tercer lugar del concurso.

Arreola Jiménez invitó a sus compañeros universitarios a acercarse a aquellos profesores con proyectos de investigaciones, en los cuales aplicar en casos concretos lo visto en los salones de clases, además, tener la oportunidad de participar en congresos como estos. El universitario comentó que, en su caso, pudo poner en práctica lo aprendido en la asignatura de Tratamiento de las Aguas Residuales. Asimismo, destacó que parte de este trabajo ha derivado en un proyecto de tesis que está en progreso.

Arreola Jiménez agradeció a la Universidad y en especial a la FES Acatlán: "gracias a la cual sucede todo esto". ¡Enhorabuena!

El Doctor Manuel Martínez Justo,
Director de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán

Lamenta el sensible fallecimiento del

Lic. Luis Gally Company's

Profesor adscrito a la División de
Ciencias Socioeconómicas.

Y se une a la pena que embarga a
familiares y amigos.

Naucalpan, Estado de México,
a 2 de marzo de 2022

**La Facultad de Estudios
Superiores Acatlán**

Lamenta el sensible
fallecimiento del

Lic. Luis Gally Company's

Profesor adscrito a la División de
Ciencias Socioeconómicas, y se une a la
pena que embarga a familiares y amigos.

Naucalpan, Estado de México,
a 2 de marzo de 2022.

UNAM
Dr. Enrique Luis Graue Wiechers
Rector

Dr. Leonardo Lomeli Vanegas
Secretario General

Dr. Luis Álvarez Icaza Longoria
Secretario Administrativo

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda
Secretaria de Desarrollo Institucional

Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo
Secretario de Prevención, Atención
y Seguridad Universitaria

Dr. Alfredo Sánchez Castañeda
Abogado General

Mtro. Néstor Martínez Cristo
Director General de Comunicación
Social

FES ACATLÁN

Dr. Manuel Martínez Justo
Director

Mtra. Nora Goris Mayans
Secretaria General Académica

Lic. José Antonio Sixtos Ortega
Coordinador de Cuerpos Colegiados

Mtro. José Luis Castañón Zurita
Secretario Administrativo

Dra. Claudia Márquez Díaz
Secretaria de Extensión Universitaria
y Vinculación Institucional

Mtro. Carlos Nandayapa Hernández
Secretario de Asuntos Académicos
Estudiantiles

Dra. Laura Páez Díaz de León
Secretaria de Posgrado e Investigación

Mtro. Fernando Martínez Ramírez
Coordinador de Servicios Académicos

Lic. Samuel Ornelas Rosales
Jefe de la Unidad de Planeación

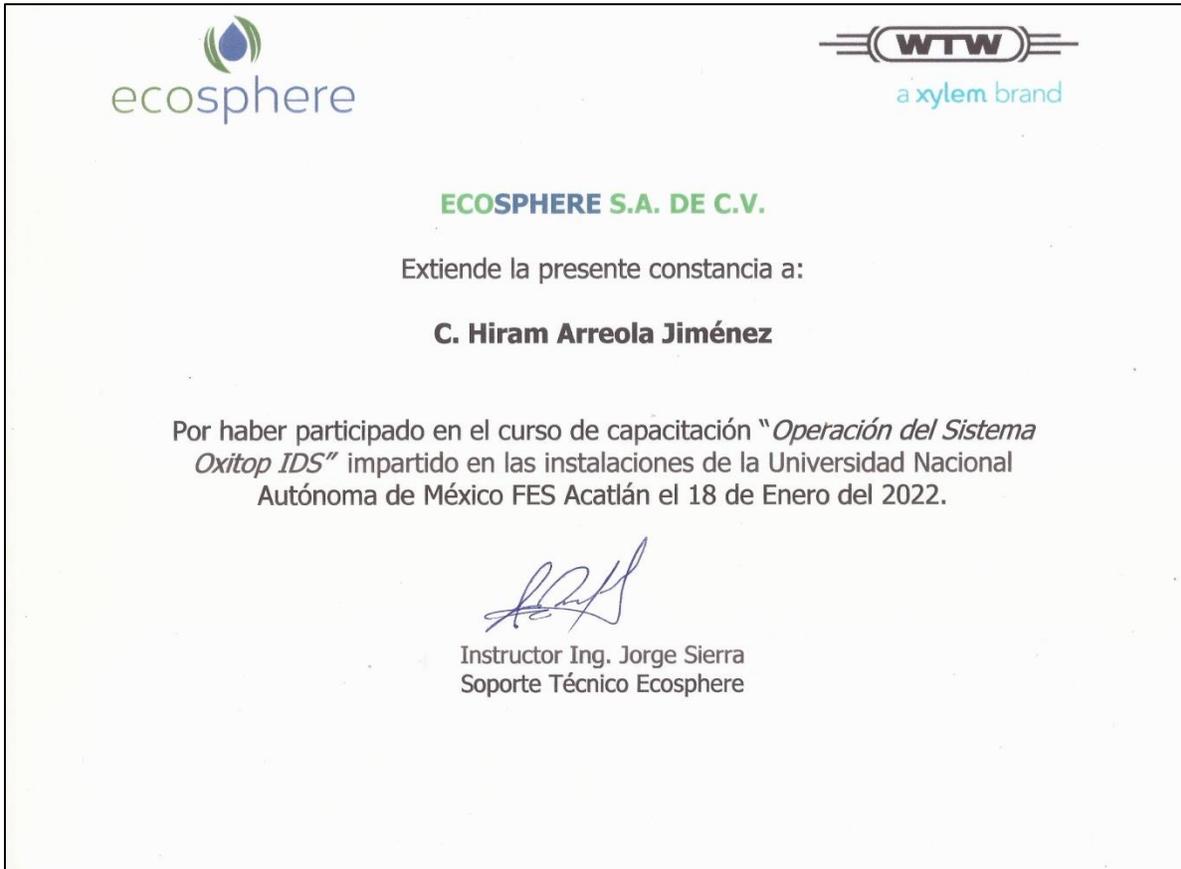
Lic. Alberto Guerrero Meneses
Coordinador de Comunicación Social

Lic. Efrén Bravo González
Jefe de Prensa

notiFES ACATLÁN, Año 14, No. 1533 (marzo 2022), es una publicación que aparece martes y jueves, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, CDMX, a través de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Avenida Alcanfores y San Juan Tototlepec S/N, Colonia Santa Cruz Acatlán, C.P. 53150, Naucalpan de Juárez, Estado de México. Teléfono: (55) 56231592 y (55) 56231593. <http://www.acatlan.unam.mx/notifesa/> comsoc@acatlan.unam.mx Editor responsable: Licenciado Alberto Guerrero Meneses. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2012-092714003100-203. ISSN en trámite. Fecha de la última modificación, 3 de marzo de 2022. <http://www.acatlan.unam.mx/notifesa/>

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, siempre y cuando se cite la fuente completa y respeten los derechos de autor.

Constancia por participar en curso de capacitación "Operación del Sistema Oxitop IDS" impartido por la empresa ECOSPHERE S.A. DE C.V.



VI. CONCLUSIONES.

Se realizó el montaje y la puesta en marcha de dos prototipos de reactores tipo UASB que operan bajo condiciones similares a las del reactor anaerobio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Facultad. Los prototipos son útiles para obtener información y tomar decisiones para la reactivación de la PTAR.

Para hacer válida la reactivación del reactor anaerobio se llevó a cabo un inventario de lodos, tanto para el reactor anaerobio como para los prototipos, en el que se determinó que el reactor cuenta con material biológico y para el caso de los prototipos para establecer que el lodo no ocupara más de $2/3$ partes del volumen total. En cuanto al reactor anaerobio, con base en el análisis realizado, el reactor cuenta con 3.5 toneladas de lodo, de las cuales 1.8 toneladas son de material biológico, mientras que el prototipo 1 cuenta con 1.43 kg de lodo, de los cuales 0.74 kg son de material biológico, y el prototipo 2 cuenta con 1.32 kg de lodo, de las cuales 0.71 kg son de material biológico.

El seguimiento de los parámetros de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) sirvió para establecer que el material biológico funciona y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica ya que en ambos prototipos se observa disminución en los valores aún con la variación de la carga orgánica presentando eficiencias de operación de 84.75 % para el prototipo 1 y 88.59 % para el prototipo 2.

Es importante mencionar que los prototipos servirán para generar líneas de investigación futuras con el propósito de mejorar la operación de la PTAR, ya que una PTAR controlada favorece a la comunidad estudiantil porque la planta fue construida para sustituir el agua potable por agua residual en el riego de las áreas verdes de la zona deportiva de la Facultad.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

- Acciona. (2020). *Acciona Business As Unusual*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/?_adin=02021864894
- ACUATECNICA. (9 de Enero de 2017). *ACUATECNICA S.A.S*. Obtenido de <https://acuatecnica.com/proceso-tratamiento-aguas-residuales-urbanas/>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (02 de enero de 2019). <https://files.conagua.gob.mx>. Obtenido de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro28.pdf>
- CONAGUA. (Abril de 2016). *CONAGUA*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152777/LINEAMIENTOS_TRATAMIENTO_AGUAS_NIVEL_VIVIENDA.pdf
- De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora Plascencia, V. (Mayo de 2013). *SIAGUA*. Obtenido de http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/tratamiento_de_aguas_residuales_en_mexico.pdf
- De Lemos Chernicharo, C. A. (2007). *Biological Wastewater Treatment Series "Anaerobic Reactors"*. London: IWA.
- Dirección General de Comunicación Social . (16 de Noviembre de 2016). <http://www.dint.unam.mx>. Obtenido de <http://www.dint.unam.mx/blog/index.php/item/3144-planta-de-tratamiento-de-agua-fes-acatlan>
- Facultad de Estudios Superiores Acatlán . (2021). <https://www.acatlan.unam.mx>. Obtenido de <https://www.acatlan.unam.mx/index.php?id=13>
- Gálvez, R., Hernández, Luis, & Pichinte, Domingo. Diagnóstico del funcionamiento actual de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el área metropolitana de San Salvador construidas desde 1990. (*Tesis de licenciatura*). Universidad de El Salvador, San Salvador.
- IB Tech. (2017). *IB Tech*. Obtenido de <https://ibtech.com.mx/casos-de-estudio/interna.php?secc=fes-acatlan-unam>
- IB Tech. (2020). <https://ibtech.com.mx>. Obtenido de <https://ibtech.com.mx/casos-de-estudio/interna.php?secc=fes-acatlan-unam>
- León, G. Reactivación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en el municipio de Medellín de Bravo, Ver. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Villa Rica, Boca del río, Ver.
- Lorenzo, Y. (2006). *La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>

- Maner, W. (1997). *SID@R*. Obtenido de <http://www.sidar.org/recur/desdi/traduc/es/visitable/maner/Prototipado.htm>
- Márquez Vázquez, M., & Martínez González, S. A. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB)*. Centro Tecnológico Aragón . Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/M%C3%81RQUEZ%20y%20MART%C3%8DNEZ%202011%20Reactores%20Anaerobios.pdf
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización* . McGraw Hill
- Montgomery, D. C. (2006). *Diseño y Análisis*. México: imusa.
- MPIUA. (s.f.). Obtenido de <https://mpiua.invid.udl.cat/fases-mpiua/prototipado/que-es-un-prototipo/>
- NMX-034-SCFI-2015. (2015). *ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA* . México : Diario Oficial de la Federación . Obtenido de <https://www.gob.mx>: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
- NMX-AA-028-SCFI-2001. (2001). *Secretaría de Economía* . Obtenido de <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-028-scfi-2001.pdf>
- NMX-AA-030/1-SCFI-2012. (2012). *Secretaría de Economía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>
- NMX-AA-034-SCFI-2015. (2015). *Secretaría de Economía* . Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
- NMX-AA-089/1-SCFI-2010. (2010). *PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CALIDAD DEL AGUA – VOCABULARIO - PARTE 1* . México : Diario Oficial de la Federación . Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166799/NMX-AA-089-1-SCFI-2010.pdf>
- NMX-AA-089/1-SCFI-2010. (2010). *Secretaría de Economía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166799/NMX-AA-089-1-SCFI-2010.pdf>
- NMX-AA-089/2-SCFI-2010. (2010). *PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CALIDAD DEL AGUA VOCABULARIO - PARTE 2* . México: Diario Oficial de la Federación . Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166801/NMX-AA-089-2-SCFI-2010.pdf>
- NOM-002-SEMARNAT-1996. (3 de Junio de 1998). *CONAGUA*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgaa-15-13.pdf>
- NOM-003-ECOL-1997. (1997). *QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIO AL PÚBLICO*. México: Diario Oficial de la Federación . Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf>

- NOM-003-SEMARNAT-1997. (14 de Enero de 1998). *CONAGUA*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgaa-15-13.pdf>
- Noyola Robles, A., Norman-Sagastume, J., & Güereca, L. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. México : Instituto de Ingeniería UNAM.
- Noyola Robles, A., Vega González , E., Ramos Hernández , J., & Calderón Mólgora , C. (2000). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales*. México: IMTA.
- Noyola, A. (mayo de 1999). Desarrollo de tecnologías Mexicanas en tratamiento de aguas residuales: una experiencia .
- Ramalho, R. (2003). Tratamiento de aguas residuales .
- Rodríguez, H. (11 de Agosto de 2021). *crehana*. Obtenido de <https://www.crehana.com/es/blog/disen-productos/prototipo-de-un-producto/>
- Salazar, M. y. (Noviembre de 2012). *Indesol* . Obtenido de <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Agua%20y%20Saneamiento/Eficiencia%20en%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales.pdf>
- Secretaría de Economía . (2016). *SE*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>
- Secretaría de Economía. (2013). *SE*. Obtenido de http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014_01.pdf
- Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones. (Febrero de 2018). *SUSMAI*. Obtenido de SUSMAI: <https://agendaambiental2018.susmai.unam.mx/wp-content/uploads/2018/03/Libro-Merino-Agenda-Amb-UNAM-web.pdf>
- SINA. (2021). *Sistema Nacional de Información del Agua* . Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=1&n=nacional>
- Vivanco , E., Yaya, D., & Chamy, D. (Abril de 2019). *CYTED*. Obtenido de <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2019/04/Tratamiento-aerobio-de-aguas-residuales.pdf>
- Wais, I. R. (25 de Octubre de 2004). *CONICET*. Obtenido de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/PlantadeTrat.htm>
- Zarza, L. F. (13 de Marzo de 2017). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>