

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA



Reducción de ácido sulfhídrico mediante recirculación de efluentes en lagunas de estabilización con Microalgas

PRESENTADO POR:

LORENA GÓMEZ LUEVANOS

TESIS

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREON, COAHUILA, MEXICO

SEPTIEMBRE, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Reducción de ácido sulfhídrico mediante recirculación de efluentes en lagunas
de estabilización con Microalgas

Por:

LORENA GÓMEZ LUEVANOS

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES


DR. ISAÍAS LÓPEZ HERNÁNDEZ
Presidente

Aprobada por:


DR. MIGUEL MEDRANO SANTILLANA
Vocal


DRA. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES
Vocal Suplente


Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO
MARGA JOEL LIMONES AVITIA
Vocal Suplente


DR. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
SEPTIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Reducción de ácido sulfhídrico mediante recirculación de efluentes en lagunas
de estabilización con Microalgas

Por:

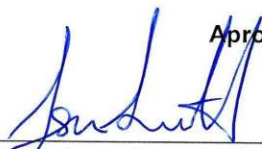
LORENA GÓMEZ LUEVANOS


TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:


DR. ISAÍAS LÓPEZ HERNÁNDEZ
Asesor Principal


DR. MIGUEL MEDRANO SANTILLANA
Coasesor


DRA. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES
Coasesor


M.A.G.A. JOEL LIMONES AVITIA
Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO
Coasesor


DR. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México
SEPTIEMBRE 2022

Agradecimientos

A **Dios**, por permitirme concluir mi carrera, por mi vida y mi salud. Por darme fuerzas para poder llegar hasta aquí.

A mi **ALMA TERRA MATER**, por acogerme y ser mi segunda casa, por convertirme en un profesional, por mis amistades y todas las cosas bonitas que en ella viví.

Al Dr. **Isaías López Hernández**, por su apoyo, por su disponibilidad y por brindarme su confianza.

A mi compañero **Igor Rodríguez López**, por su amistad, por compartir sus conocimientos y hacerme ver que no todo es tan difícil como parece.

Dedicatoria

A Dios, por tantas bendiciones.

A mí madre, **Sandra Leticia Luévanos Borroel** y **Javier Gómez Ruíz** por su apoyo incondicional, porque siempre confiaron en mí y por estar en cada etapa de mi vida, porque mis logros son los suyos.

A mí niña hermosa, **Mabel Martínez Gómez**, por ser la razón por la que despierto, por ser mi felicidad, por darme todo con una sonrisa y por ser mi motivación para ser mejor cada día.

A **Esdras Martínez Pérez**, por apoyarme desde el inicio, por quererme a pesar de todo, porque si caigo tú me ayudas a levantarme, por regalarme tus mejores años y una hija bella.

A mis hermanos **Maribel** y **Javier** por creer en mí y estar orgullosos de su hermana.

A **Jesús López Favela** por llegar a hacer mi vida más bonita, por siempre guiarme por el camino del bien, por darme motivación y siempre creer en mí.

RESUMEN

Las lagunas de estabilización (LE) se utilizan como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, pero una de sus desventajas es emisión de malos olores ocasionados por el ácido sulfhídrico (H_2S), que es altamente tóxico y corrosivo, además que provoca daños a la salud que se encuentre cerca por lo que decidimos darle prioridad para resolverlo lo antes posible y poder continuar con la operación sin ocasionar daños a la salud de la población aledaña. En este estudio se presenta como solución la recirculación del efluente de un 20%, el cual contiene microalgas nativas, se realizó una serie de pruebas de recirculación mediante el método de jarras para después ser llevado a escala macro, se evaluó el desempeño mensualmente en el año 2019 antes de implementar el proyecto. Los resultados mostraron cambios favorables en cuanto a la reducción del H_2S con un 48.9%, lo que hizo que los olores desagradables disminuyeran con lo cual se concluye que la metodología utilizada fue eficiente.

Palabras claves: Tratamiento de aguas residuales, Recirculación del efluente, Ácido sulfhídrico, Microalgas, Coliformes fecales

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Importancia del tratamiento de aguas residuales.....	2
2.2 Tratamiento de aguas residuales en México.....	3
2.3 Lagunas de estabilización.....	7
2.3.1 Clasificación.....	8
2.3.2 Objetivos.....	8
2.3.3 Ventajas.....	8
2.3.4 Desventajas.....	9
2.4 Malos olores.....	10
2.5 Ácido sulfhídrico.....	10
2.6 Ventajas de recirculación de efluentes.....	13
2.7 Planta de SIMAS Torreón Coahuila.....	14
III. MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1 Determinación de porcentaje de retorno.....	17
3.2 Etapas de estudio	18
3.3 Métodos analíticos.....	20
3.4 Análisis de datos.....	21

IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	22
	4.1 Generación de H ₂ S.....	22
V.	CONCLUSION.....	25
VI.	REFERENCIAS.....	26

INDICE DE CUADROS

Resumen del inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación Dic-19.....	5
--	---

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Afectaciones del ácido sulfhídrico.....	12
Figura 2. Efecto de temperatura y disolución de H ₂ S sobre la concentración del H ₂ S en el aire.....	13
Figura 3. Planta de tratamiento de aguas residuales SIMAS.....	15
Figura 4. Afectación por generación de olores en planta municipal de Torreón.....	16
Figura 5. Vista aérea de planta tratadora de aguas SIMAS.....	17
Figura 6. Equipos de jarras.....	18
Figura 7. Mapa de la zona de estudio, en la imagen se presenta una vista satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales municipal de la ciudad de Torreón, Coahuila, donde se indican con puntos rojos los veinte sitios de muestreo. Las instalaciones se encuentran en la colonia Villas de Zaragoza, las coordenadas geográficas del sitio son 25° 30' 50.3" N; 103° 19' 16.8" W y 1125 msnm.....	19
Figura 8. Tubería de recirculación del agua al influente.....	21
Figura 9. Concentración de mg m ³ de producción de H ₂ S.....	23
Figura 10. Mediciones de h ₂ s en puntos fijos alrededor de la planta de tratamiento municipal.....	24

INTRODUCCION

Las lagunas de estabilización (LE) se utilizan como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, una de sus desventajas es la emisión de malos olores ocasionados por el ácido sulfhídrico (H_2S), el cual es altamente tóxico y corrosivo, además de que provoca daños a la salud de la población aledaña y afecta negativamente a las estructuras metálicas y equipos eléctricos expuestos. Esta problemática es una prioridad a resolver para continuar con la operación de las plantas de tratamiento de agua residual. En este estudio se presenta como alternativa de solución un procedimiento basado en la recirculación del efluente de un 20%, el cual contiene microalgas nativas. Para determinar el porcentaje óptimo de recirculación del efluente, se implementó una serie de pruebas de recirculación a través del método de Jarras y posteriormente fue llevado a escala macro, evaluando el desempeño de la recirculación del efluente comparando los promedios mensuales del año 2019 antes de la implementación del proyecto con el 2020 ya operando. Los resultados mostraron cambios significativos en los porcentajes de remoción de contaminantes, en la demanda bioquímica de oxígeno, de 20.8%; sólidos suspendidos totales, 22.17%; grasas y aceites, 29.5% y una reducción en los coliformes fecales, 91,4%, además de reducción del H_2S con un 48.9%, lo que disminuye los olores desagradables, y potencial efecto toxico a la salud. Podemos concluir que la metodología es eficiente en la mejora de los parámetros antes mencionados, cumpliendo así los estándares de las normativas aplicables.

II. REVISION LITERARIA

2.1 IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Por aguas residuales se entiende a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, formas de energía o inducir condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implica alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. Estas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos (Alvarado Granados, Camacho Calzada, Díaz Cuencua, 2012).

En el mundo se generan anualmente 330 km^3 de aguas residuales urbanas de las cuales en México se producen 6.7 km^3 , de éstas sólo 47.5% son tratadas. Un porcentaje alto de las aguas tratadas, se hacen de manera deficiente; por lo tanto, queda poca agua para volverse a usar.

En el mundo se generan cada año 330 km^3 de agua residual urbana que podrían irrigar y fertilizar cultivos agrícolas y producir biogás para suministrar energía a millones de productores (Mateo-Sagasta, 2015). Tratadas o sin tratar, se utilizan principalmente para irrigar regiones áridas y semiáridas (Tunc y Sahin, 2015). Sin embargo, solamente una pequeña porción son tratadas y, la proporción que se reutiliza de manera segura es aún más reducida que la que existe para reúso directo e indirecto sin tratar (Mateo-Sagasta, 2015).

Más de 80% de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo se descargan sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y zonas costeras (Scott, 2004). En México se genera 6.7 km^3 de aguas residuales, con una cobertura de tratamiento de 47.5% (SEMARNAT, 2015). Un porcentaje importante del agua que se trata se realiza de manera deficiente, siendo poca el agua disponible para reutilizarse y resulta de baja calidad (Mahapatra, 2013).

Existen normas internacionales que regulan la calidad de las aguas residuales para su reúso en la agricultura, sin embargo, algunos países no tienen implementadas aún normas propias (Veliz, 2009).

El reúso del agua residual, es una estrategia fundamental para conservar el agua (Wester, 2015). El crecimiento demográfico, la urbanización e incremento en el consumo de agua en hogares, agricultura e industria son algunos factores que han acrecentado la demanda, conduciendo a su vez la escasez del recurso (SEMARNAT, 2014). Esta situación, propicia la carencia de viabilidad económica de los proyectos de tratamiento, referentes a recursos hídricos, ligado a la incorrecta reutilización del agua tratada obtenida, lo que genera un bajo o nulo beneficio económico para su venta a los sectores industriales o agropecuarios.

Esto, a corto o mediano plazo, genera insolvencia en los sistemas y entidades responsables de la operación de las plantas de tratamiento, comprometiendo seriamente su continuidad operativa (Wichelns, 2015).

2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO

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. Este desarrollo conduce a la escasez y perjudica gravemente el avance hacia el logro de los Objetivos del Milenio.

A pesar de esta condición, 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

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.

Los beneficios de contar con agua de calidad son innumerables, por esta razón, en México se ha creado un marco normativo que se encarga de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a través de las siguientes normas:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-002-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-003-Semarnat-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publicada el 21 de septiembre de 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-004-Semarnat-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003.

La preocupación por las descargas de las aguas residuales y sus efectos al medio ambiente ha dado lugar a la promulgación de leyes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente publicada el 28 de enero de 1988 y la Ley de Aguas Nacionales publicada el 1 de diciembre de 1992, que establecen la necesidad de prevenir y controlar la contaminación del agua y proteger los recursos hídricos. En este mismo sentido, al inicio de cada nueva administración del Gobierno en México, se formula un Programa Nacional Hídrico alineado al Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Nacional de Infraestructura, y demás programas que

busquen la preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos (de la Peña, Ducci, Zamora Plascencia, 2013)

En México, las descargas de agua residual se clasifican por su origen en municipales-manejadas por los sistemas municipales urbanos y rurales de alcantarillado- y en industriales, directas a cuerpos receptores de agua de propiedad nacional, como en el caso de la industria autoabastecida.

Las 2 540 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en 2018 trataron el 63.8% de los 215.8 m³/s de aguas residuales recolectadas. Se estima que la industria trató 87.1 m³/s en 3 144 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación a nivel nacional durante el mismo año (CONAGUA, 2019).

Resumen del inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación Dic-19

Estado	No. Plantas
Aguascalientes	135
Baja California	45
Baja California Sur	32
Campeche	19
Coahuila de Zaragoza	26

Colima	74
Chiapas	92
Chihuahua	191
Ciudad de México	29
Durango	228
Guanajuato	64
Guerrero	67
Hidalgo	62
Jalisco	149
México	131
Michoacán de Ocampo	46
Nayarit	70
Nuevo León	55
Oaxaca	77
Puebla	85
Querétaro de Arteaga	51
Quintana Roo	29

San Luis Potosí	63
Sinaloa	279
Sonora	107
Tabasco	69
Tamaulipas	61
Tlaxcala	58
Veracruz de Ignacio de la Llave	108
Yucatán	29
Zacatecas	53

Cuadro 1. Resumen del inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación Dic-19 (CONAGUA, 2019).

2.3 LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Las LE son un tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales (TAR) consistentes en estanques artificiales que requieren largos tiempos de retención hidráulica que permiten mejorar la calidad del agua, este tipo de tratamiento se recomiendan en países con climas tropicales, ya que las condiciones ambientales incrementan la eficiencia en la remoción de contaminantes (Coggins, 2019).

2.3.1 CLASIFICACION

Las LE se pueden clasificar en relación con la presencia de oxígeno en tres tipos: anaerobias, facultativas y de maduración (Edokpayi, 2021). En las anaerobias, las bacterias presentes no requieren oxígeno disuelto para la descomposición de materia orgánica, ya que esta se degrada por procesos metanogénicos; las lagunas facultativas se caracterizan por presencia y ausencia de oxígeno disuelto, teniendo un proceso aerobio en el estrato superior y condiciones anaerobias en el estrato inferior (Joshi, 2020). Mientras que las lagunas de maduración presentan poca profundidad, siendo así un proceso totalmente aerobio.

2.3.2 OBJETIVO

Su diseño tiene tres objetivos principales; La eliminación de coliformes fecales y microorganismos patógenos, que representan un grave peligro para la salud causando enfermedades como: hepatitis, cólera y tifoidea entre otras importantes, (Achag, 2021); Remoción de nutrientes: nitrógeno y fósforo, con el fin de evitar la eutrofización en los cuerpos receptores (Laaksonen, 2017); y por último la remoción de la materia orgánica también llamada demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), responsable del agotamiento del oxígeno disuelto necesario para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos (Minakshi, 2018).

El resultado del efluente final del TAR deberá cumplir la calidad del agua referida en la NOM-001- SEMARNAT-1996, la cual indica los límites máximos permisibles (DOF, 1996).

2.3.3 VENTAJAS

Las principales ventajas de las LE, son sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento en comparación a otros sistemas de TAR, razón por la cual es el sistema más frecuentemente usado en municipios pequeños y regiones con

grandes áreas disponibles (Al-Zreiqat, 2018). Las LE tienen una buena aceptación en países en vías de desarrollo, por ser económicamente viables (López, 2018).

2.3.4 DESVENTAJAS

Sin embargo, una desventaja de los sistemas de LE es que generan un problema socio-ambiental; debido al mal olor originado por la descomposición de la materia orgánica en las lagunas anaerobias (Ho, 2018). El mal olor generado en las LE es provocado por la generación de H_2S , derivado de la presencia de sulfatos en el agua residual, donde las bacterias anaerobias reductoras de sulfatos, utilizan el oxígeno de los sulfatos, generándose éste ácido, lo que produce el olor a huevo podrido y mercaptanos (Ramazan, 2021) lo cual puede ser una verdadera molestia para las comunidades y residentes, quienes coinciden en la recepción de los vientos provenientes de plantas de tratamiento.

Es importante mencionar que el H_2S más allá del olor es un agente altamente corrosivo y ocasiona daños a la integridad estructural de las instalaciones de la TAR, y se sabe que este compuesto al contacto con los seres vivos es altamente nocivo debido a que se ha reportado que puede ocasionar desde cefaleas hasta la muerte (Sun, 2019; Salehi y Chaiprapat 2019).

Por tal motivo existe la necesidad de realizar una modificación en el diseño de las LE en el cual se plantea aplicar una reingeniería al TAR implementando una recirculación del efluente al inicio del proceso, consiguiendo las siguientes ventajas: evitar la generación de olores al disminuir la concentración de H_2S , controlar las variaciones estacionales de los principales parámetros, mantener las condiciones aerobias en la entrada de la primera laguna (Liu, 2018).

En base a lo anterior el objetivo del presente estudio fue mejorar el sistema actual lagunas de estabilización del municipio de Torreón, Coahuila, mediante la ejecución de un proceso de recirculación del 20% del efluente a las lagunas primarias, determinando parámetros propios de la calidad del agua (pH, conductividad eléctrica, DBO_5 , sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, grasas y aceites, coliformes fecales, huevos de helminto y generación de H_2S).

2.4 MALOS OLORES

El problema del olor según (Bindra, 2015), puede ser una verdadera molestia para las comunidades y los residentes de la zona (Zarra, 2008), especialmente las que están a favor del viento en plantas de tratamiento (Bindra, 2015), principalmente originados por la descomposición de la materia orgánica en las lagunas anaerobias.

Por tal motivo existe la necesidad de implementar un método que permita disminuir la generación de gases como el H_2S , debido a los sulfatos presentes en el agua residual, donde las bacterias anaerobias reductoras de sulfatos, utilizan el oxígeno de los sulfatos, generándose éste ácido, lo que da el olor a huevo podrido y mercaptanos (Zhang, 2013).

Las quejas pueden traer problemas legales y, en algunos casos, lograr la suspensión de las operaciones o incluso el cierre de la instalación (Correa Restrepo, 2012).

2.5 ACIDO SULFHIDRICO

El h_2S en el agua residual es uno de los principales causantes de olor desagradable en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Este compuesto es altamente tóxico, tiene propiedades corrosivas y demanda de oxígeno para convertirse en ácido sulfúrico. Su formación es el resultado de la reducción de sulfato por la bacteria sulfareductoras (*Desulfovibrio desufuricans*) la cual utiliza sulfato como aceptor de electrón.

Este compuesto también puede producirse por descomposición de algunos aminoácidos que contienen azufre como la metionina, cisteína y cistina, sin embargo la reducción de sulfato es la vía más importante de producción de h_2S en el agua residual.

El H_2S es muy tóxico para el ser humano y en concentraciones que exceden los 550 ppm (Bitton, 1994) Este gas es corrosivo para materiales como concreto, cobre, hierro, que comúnmente se encuentran en plantas tratadoras de aguas residuales.

La distribución de H_2S en la fase líquida y la gaseosa depende principalmente del pH, la concentración inicial de H_2S y la temperatura, A un $\text{pH}=7.0$, el HS_2 está en un 50% de la disolución del sulfuro en el agua residual. Esta concentración se incrementa cuando el pH decrece y también decrece la solubilidad cuando la temperatura incrementa (Bitton, 1994).

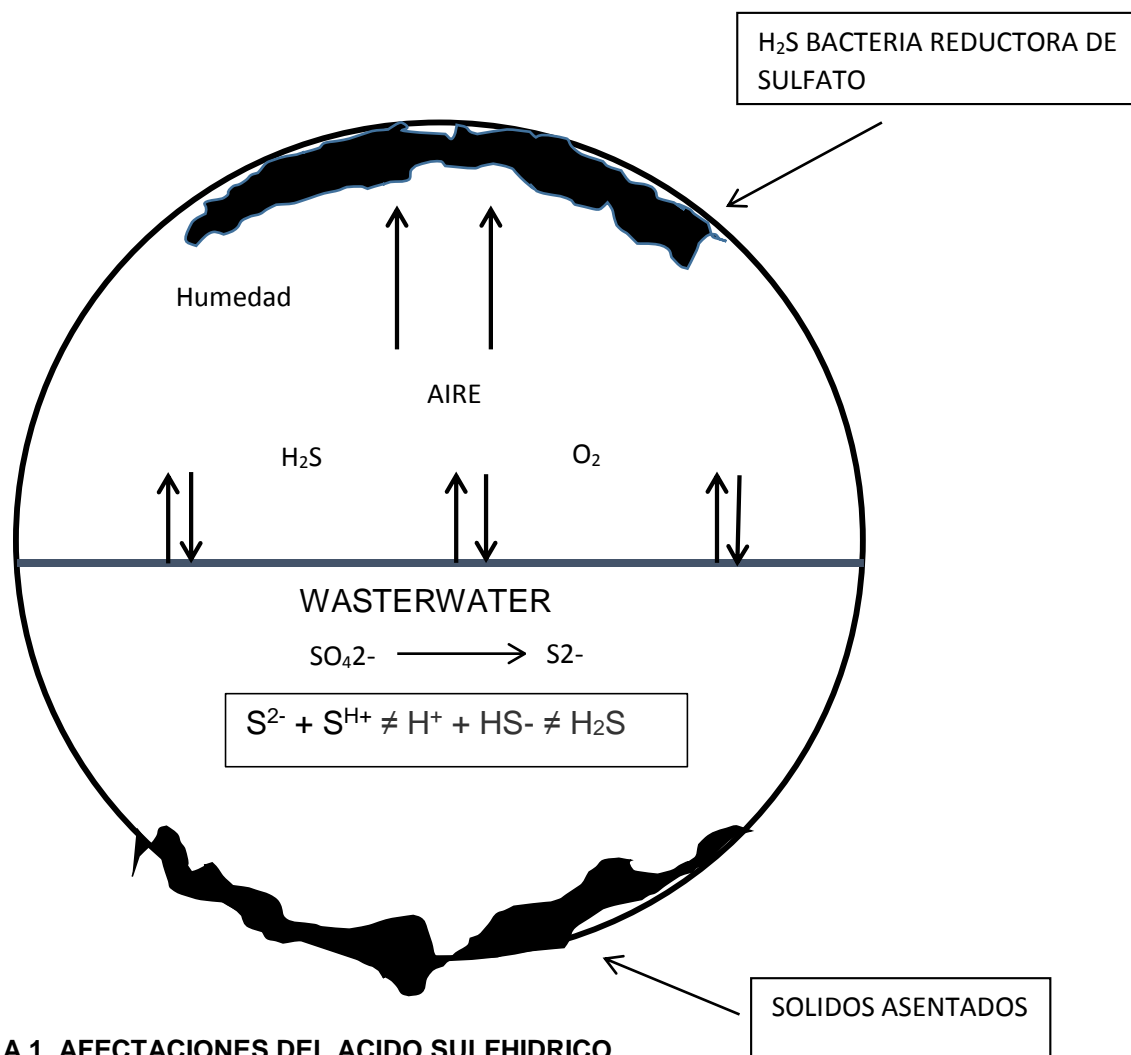


FIGURA 1. AFECTACIONES DEL ACIDO SULFHIDRICO

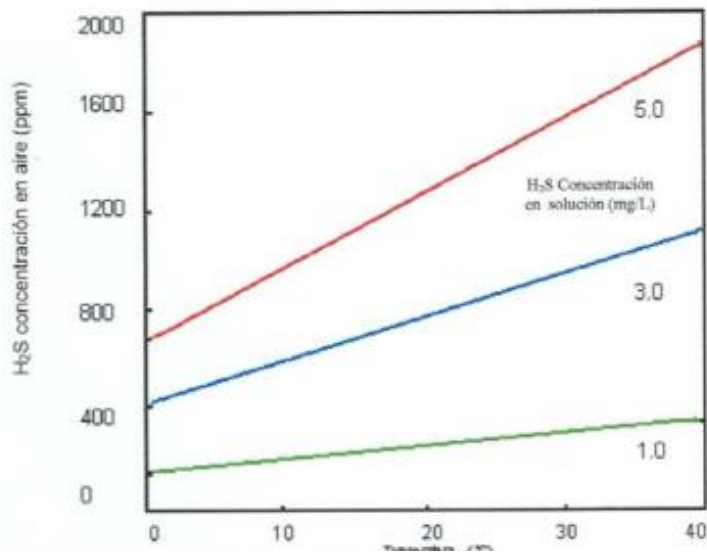


Figura 2. Efecto de la temperatura y disolución del H₂S sobre la concentración del h₂S en el aire.

(Bowker, 1989)

2.6 VENTAJAS DE RECIRCULACION DE EFLUENTES

La introducción de la recirculación de una laguna posterior a otra tiene varias ventajas: disminuir los requerimientos de tierra, evitar la generación de olores, controlar las variaciones estacionales, incrementar en tres o más veces la carga orgánica crítica, mantener las condiciones aerobias en la entrada de la primera laguna (Shelef y Kanarek, 1995).

Incrementar la estabilidad y pocos cambios en las variaciones estacionales que afectan directamente la operación así como para las cargas orgánicas. Incrementar la capa de lodo sedimentado en todo el fondo de la laguna.

Otro de los beneficios de la recirculación de agua con microalgas nativas en las lagunas es su tendencia a aumentar el pH del agua. Un pH de 9.2 por 24 horas puede eliminar el 100% de la E. coli y gran cantidad de bacterias patógenas.

2.7 PLANTA DE SIMAS TORREON COAHUILA

En la ciudad de Torreón se extraen diariamente del subsuelo aproximadamente 2,500 litros/ segundo para abastecer las necesidades de la población, comercio e industria.

El volumen de las aguas negras varía del 70% al 130 % del consumo total del agua. Si mucha del agua es utilizada para riego de áreas verdes y refrigeración, menos aguas residuales son regresadas a la planta. También, este volumen puede aumentar cuando las industrias utilizan sus propias fuentes de agua pero descargan sus aguas residuales en el drenaje de la ciudad.

La ciudad de torreón genera aproximadamente 1,600 lts/seg. de aguas residuales, de las cuales 1,350 lts/seg. Son tratados en las plantas municipales y el resto en diversas plantas tratadoras.

El Sistema Intermunicipal de Aguas y Saneamiento Torreón-Matamoros, Coahuila, es un organismo autónomo independiente de los gobiernos municipales que tiene por objeto proporcionar los servicios de agua potable, alcantarillado y control y supervisión de aguas residuales en las zonas rurales de Torreón-Matamoros y todo el municipio de Viesca.

De esta forma la cobertura de SIMAS Torreón-Matamoros, Coahuila, se extiende a 104 ejidos y 34 fraccionamientos de Torreón, Matamoros y Viesca.

Este sistema inicio el 31 de Agosto de 1993, también realiza planeación y construcción de obras que cumplan las redes existentes, así como su rehabilitación, mantenimiento a bombas extractoras, cárcamos y medidores, labores de desazolve y otras acciones. Su función permanente, es controlar y verificar su funcionamiento adecuado de la prestación de estos servicios, a través de su personal calificado, constituido por 33 funcionarios y empleados administrativos y 68 expertos en

labores de campo que cubren el área de acción con más de 40 vehículos especializados, incluyendo unidades de desazolve
(SIMAS)

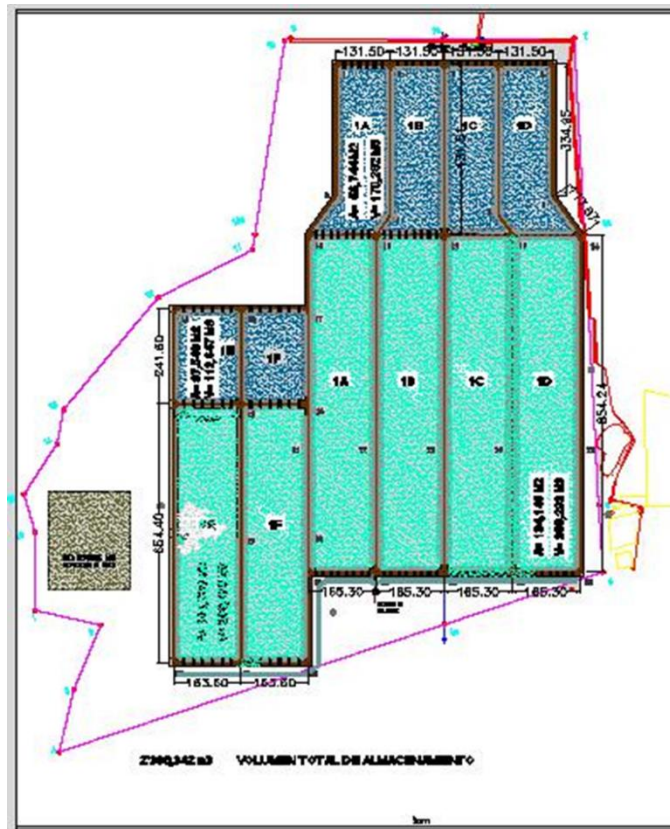


Figura 3. Planta de tratamiento de aguas residuales SIMAS Torreón, Coah.

Las lagunas de estabilización se han utilizado como una alternativa eficiente al tratamiento de aguas residuales, por tanto, una de sus principales desventajas radica en la emisión de olores desagradable por la descomposición anaerobia de materia orgánica, es el único inconveniente de la población civil que habita las áreas, lo que convierte a ésta, en una prioridad para continuar con la operación de las plantas de tratamiento de agua residual.

En este estudio, un procedimiento novedoso basado en la recirculación del efluente conteniendo microalgas, fue establecido en la planta de tratamiento de aguas residuales de Torreón, Coahuila, México, como alternativa para reducir la emisión de olores desagradables



Figura 4. Afectación por generación de olores en planta municipal Torreón

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Las LE del presente estudio están ubicadas en la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) Municipal de Torreón Coahuila, México a $25^{\circ} 30' 50.3''$ latitud norte; $103^{\circ} 19' 16.8''$ longitud oeste y 1125 msnm. El estudio se realizó durante el periodo de enero a diciembre del 2019 y 2020.



Figura 5. Vista aérea de planta tratadora de aguas SIMAS

3.1 Determinación de porcentaje de retorno.

Para determinar el porcentaje del efluente se realizó un experimento preliminar mediante pruebas por el método de jarras (Leones, 2018), en vasos de precipitado de 1L (Figura 6. Equipo de jarras). Modelo TS1198X85 marca Thomas Scientific; el cual consistió en realizar mezclas del influente y efluente con diferentes porcentajes de recirculación 10, 20 y 30% respectivamente, para conocer el porcentaje óptimo de la calidad del agua sin impactar los costos operativos.



Figura 6. Equipo de jarras

3.2 Etapas del estudio

En el presente estudio se llevaron a cabo 2 etapas;

Etapa 1, se determinaron 20 puntos de monitoreo a intervalos de 100 m en la periferia de la PTAR, en los cuales se llevaron a cabo las mediciones de los niveles de H_2S (Figura 6).



Figura 7. Mapa de la zona de estudio, en la imagen se presenta una vista satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales municipal de la ciudad de Torreón, Coahuila, donde se indican con puntos rojos los veinte sitios de muestreo. Las instalaciones se encuentran en la colonia Villas de Zaragoza, las coordenadas geográficas del sitio son $25^{\circ} 30' 50.3''$ N; $103^{\circ} 19' 16.8''$ W y 1125 msnm. (imagen tomada de Google Earth).

Etapa 2, se realizaron tomas de muestras de agua de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, cada 15 días durante 24 meses del influente y efluente, en las cuales se determinaron los parámetros de pH, conductividad eléctrica (C.E), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD) y grasas y aceites, coliformes fecales, huevos de helminto y generación H_2S .

3.3 Métodos analíticos

Los parámetros arriba mencionados se determinaron con las metodologías propuestas por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice *et al.* 2012).

Los valores de pH se obtuvieron mediante un potenciómetro (Ultra BASIC Series Meter; Denver, Colorado. USA); la Conductividad Eléctrica (C.E.) empleando un conductímetro (HANNA HI 993310 Ann Arbor, Michigan USA); La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fue determinada conforme a la NMX-AA-030/1-SCFI-2012 con un sonda de oxígeno disuelto (Orion, Thermo Scientific); los sólidos suspendidos totales (SST) se determinaron mediante capsulas de evaporación de porcelana, usando un dispositivo de filtración crisol Gooch aplicando la NMX-AA-034-SCFI-2015 (Secretaria de economía, 2015); para el oxígeno disuelto (OD) se determinó conforme a la NMX-AA-012-SCFI-2001 (Secretaria de economía, 2001), utilizando la misma sonda que en la determinación de DBO₅; para la determinación de grasas y aceites se utilizó un equipo de extracción (Soxleth Fermette) de acuerdo a la norma NMX-AA-005-SCFI-2013; para los coliformes fecales se determinó por la técnica del número más probable (NMP) conforme a la norma NMX-AA-42-1987; para la determinación de los huevos de helminto se utilizó la técnica de filtración por tamizaje conforme a la norma NMX-AA-113-SCFI-2012.

Y para la determinación de la concentración del H₂S se utilizó un detector de gases GasAlertMax XT II (Honeywell, United States of América) con rangos de medición de 0-200 ppm y resolución de 1 ppm.

La calibración del equipo fue acorde a las especificaciones del fabricante.



Figura 8. Tubería de recirculación del agua al influente

3.4 Análisis de datos.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis estadístico de medias, desviación estándar y una prueba de t de student ($\alpha=0.05$) (Walpone *et al.*, 2012). Dichos resultados fueron producto de un muestreo mensual en cada punto, estos muestreos se realizaron durante dos años para efectos comparativos, antes de la recirculación (2019) y después de la recirculación (2020).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Se consideró como porcentaje óptimo para la recirculación el 20 % total del efluente de la PTAR, esto fue determinado mediante un ensayo preliminar (prueba de Jarras Tabla 1), Para el análisis de los resultados se contrastaron los valores previos a la recirculación de influente y efluente (2019) con respecto a los valores posteriores a la misma (2020).

Generación de H₂S

Las emisiones de gases como el H₂S, son responsables de los malos olores y fueron reducidas de manera significativa durante los muestreos del año 2020 (P=0.01).

Los resultados fueron estadísticamente diferentes comparando el antes y después de la recirculación, obteniendo una reducción promedio anual del 48.9 % de H₂S ($\mu\text{g L}^{-1}$) v/v. Lográndose que el parámetro este dentro de los límites permisibles indicados en la norma NOM-010-STPS-1999.

Desde el punto de vista químico la recirculación del efluente inhibió la generación de H₂S en las lagunas anaerobias, ya que el efluente agregado contenía una mayor cantidad de microalgas y carbonatos de calcio lo cual coadyuva a la eliminación de la microbiota por alcalinización del medio.

Es importante recalcar que la microbiota metanogénica es acidófila y por lo tanto la competencia con las microalgas impide su desarrollo y la generación de H₂S responsable de los malos olores, este fenómeno ocasiona un efecto de sello ya que en las capas superiores se genera un ambiente alcalino y con más oxígeno, y debido a este arreglo estratificado, las capas inferiores no sufren alteraciones en su funcionamiento tradicional, ya que la anaerobiosis y la microbiota natural no cambia y continúan trabajando con la misma eficiencia de remoción de otros contaminantes.(Aslam et al, 2019, Sun *et al.*, 2019, Salehi y Chaiprapat 2019).

La recirculación permite que la concentración de H₂S disminuyera considerablemente, si bien este compuesto no es un gas de efecto invernadero, se

estima que otros gases también disminuyan su producción con esta reingeniería, tales como lo son los gases de efecto invernadero que se producen en la PTAR (metano, bióxido de carbono), si bien no es el objetivo de este estudio, sería recomendable determinar la disminución de la concentración de esos gases, evaluando la recirculación como una alternativa para la mitigación del cambio climático debido al efecto invernadero en LE.

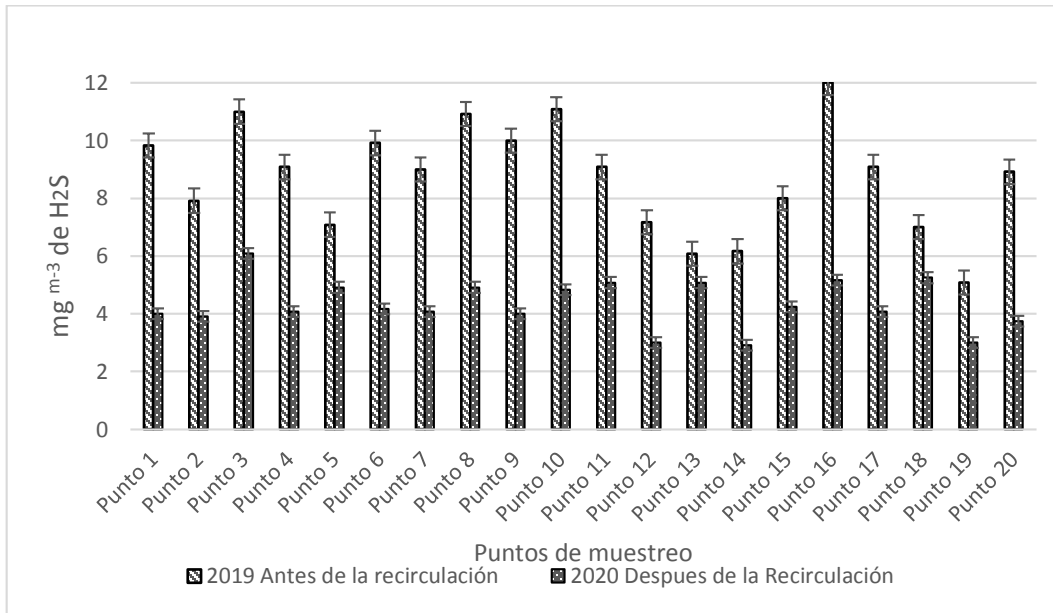


Figura 9. Concentración mg m³ de producción de H₂S

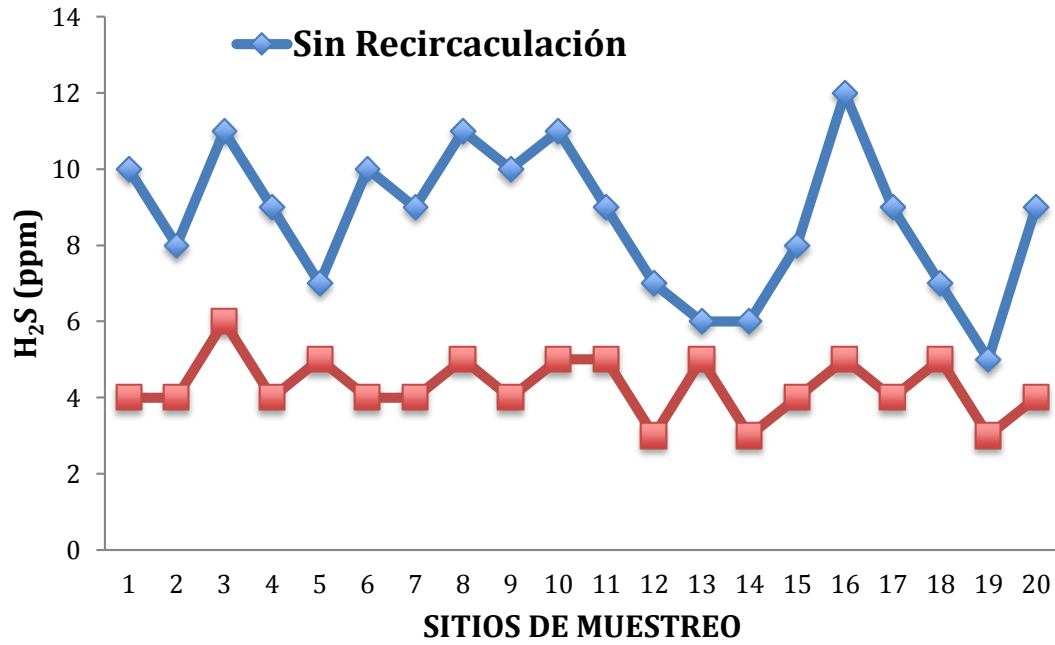


Figura 10. Mediciones de h₂s en puntos fijos alrededor de la planta de tratamiento municipal

V. CONCLUSIONES

La recirculación de un 20 % del efluente redujo significativamente ($p=0.05$) los valores de grasas, aceites, coliformes fecales, huevos de helminto y generación de H_2S . Lo anterior permitió dar cumplimiento para los parámetros de grasas y aceites en la normatividad mexicana.

Es también importante mencionar que la concentración de H_2S disminuyó en los 20 puntos de muestreo, sin embargo este contaminante no está normado en la legislación mexicana ambiental a pesar de que su toxicidad se encuentra reportada en la literatura internacional.

Por otra parte a pesar que hubo una reducción considerable en la concentración de coliformes, este parámetro sigue estando fuera de norma, lo cual es de esperarse ya que su concentración inicial era elevada y dada a la naturaleza de este tipo de tratamiento es difícil lograr la concentración que estipula la norma, es importante destacar que incluso otro tipo de tratamientos no consiguen bajar la concentración de los coliformes para cumplir con la norma por lo cual deben recurrir a procesos químicos de desinfección.

En vista de los resultados obtenidos, la recirculación representa una alternativa viable desde el punto de vista económico y ecológico ya que disminuye costos operativos, y en materia de salud ambiental reduce el riesgo por exposición a los gases tóxicos en la población aledaña.

Es recomendable continuar la evaluación durante un periodo más largo, ya que sólo se evaluó un año, siendo interesante su continuación para seguir analizando los efectos de la recirculación ante las variaciones naturales y estacionales del influente.

VL. REFERENCIAS

Achag, B., Mouhanni, H. y Bendou, H. (2021), *Hydro-biological characterization and efficiency of natural waste stabilization ponds in a desert climate (city of Assa, Southern Morocco)* Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua 70 (3): 361–374.

Alvarado Granados, Camacho Calzada, Diaz Cuencua, A. R. K. E. E. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México.* <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>.

Al-Zreiqat, I., Abbassi, B., Headley, T., Nivala, J., van Afferden, M y Müller, R., (2018). Influence of septic tank attached growth media on total nitrogen removal in a recirculating vertical flow constructed wetland for treatment of domestic wastewater. *Ecological Engineering* 118, 171–178

Bindra, N., Dubey, B. y Dutta, A. (2015). Technological and life cycle assessment of organics processing odour control technologies. *Sci Total Environ* 527-528, 401-412.

BITTON, Gabriel. *Wastewater Microbiology*. A Jhon Wtey and SonsJnc. NewYork. 1994

Coggins, L. X., Crosbie, N. D., & Ghadouani, A. (2019). *The small, the big, and the beautiful: Emerging challenges and opportunities for waste stabilization ponds in Australia*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water.

CONAGUA. (2019, Diciembre). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación.*

Correa Restrepo, G., Cuervo Fuentes, H., Mejía Ruíz, R. y Aguirre, N. (2012). Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. *Producción + Limpia* 7, 36-51.

de la Peña, Ducci, Zamora Plascencia, J. M. E. V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*.
http://www.siaga.org/sites/default/files/documentos/documentos/tratamiento_de_aguas_residuales_en_mexico.pdf.

Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., Popoola, O. E., & Msagati, T. A. M. (2021). Evaluation of contaminants removal by waste stabilization ponds: A case study of Siloam WSPs in Vhembe District, South Africa. *Heliyon*, 7(2), e06207.

Leones M., Riaños K, Mercado L. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio en el proceso de clarificación del agua de la Ciénega de Mlambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*. Vol. 17. No 2. pp 95-104.

Liu, L., Hall, G., & Champagne, P. (2018). Disinfection Processes and Mechanisms in Wastewater Stabilization Ponds: A Review. *Environmental Reviews*.

S.I.M.A.S. (s. f.). Sistema intermunicipal de aguas y saneamiento de Torreón-Matamoros, Coah.

Sun, S., Jia, T., Chen, K.. (2019). Simultaneous removal of hydrogen sulfide and volatile organic sulfur compounds in off-gas mixture from a wastewater treatment plant using a two-stage bio-trickling filter system. *Front. Environ. Sci. Eng.* 13, 60

Rice, E. W.; Baird, R. B. and Eaton, A. D. 2012. Standar methods for the examination of water and wastewater. 22th. (Ed.). American Public Health Association Washington D. C. 54:674-689.

Ramazan Vagheei. (2021). Upgrading of waste stabilization ponds using a low-cost small-scale fine bubble diffused aeration system. *Water Sci Technol*; wst2021330

Walpone, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L. y Ye, K. 2012. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, 9a Edition. Pearson Educación Mexico, México, 816 pp.

Zarra, T., Naddeo, V., Belgiorno, V., Reiser, M. y Kranert, M. (2008). Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment. *Water Sci. Technol.* 58, 89-94.