



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“Propuesta de Tratamiento Biológico para la Planta de
Tratamiento de Aguas Residuales existente en el Centro de
Información, Arte y Cultura de la UMSNH”**

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta

Ing. Mariano Abdías Posadas Orozco

Director de Tesis:

Dr. Hugo Luis Chávez García

Co-asesora: Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán

Morelia, Michoacán, noviembre de 2022





RESUMEN

Se propone la aplicación de un proceso físico-biológico en una planta de tratamiento de aguas residuales, aplicando enzimas reductoras, este diseño está pensado principalmente para conjuntos habitacionales, sector ganadero y avícola. Con el fin de brindar soluciones económicas que reduzcan la emisión de contaminantes al agua, para que esta pueda ser descargada satisfactoriamente de acuerdo a la normativa vigente, o incluso reutilizar el agua para riego de áreas verdes y se reduzcan los costos de agua para riego y desde luego sin comprometer la salud de las personas que entrarían en contacto indirecto con esa agua.

La metodología por medio de enzimas (Sewper Rx) permite reducir significativamente los lodos producidos en el biorreactor por degradación natural de las mismas con la materia orgánica y esto se traduce en economía a mediano y largo plazo pues requiere mínimo mantenimiento periódico, además de no necesitar gran conocimiento para operar la Planta Tratadora de Aguas Residuales. Se trabajó con las dosificaciones de: 1 onza de enzima por 1 onza de azúcar; 2 onzas de enzima por 2 onzas de azúcar; 1.5 onzas de enzima por 1.5 onzas de azúcar; $\frac{1}{2}$ onza de enzima por $\frac{1}{2}$ onza de azúcar; presentándose los mejores resultados de remociones de los parámetros de DBO, SST y SSed en las dosificaciones de 1x1 y de 2x2.

Palabras clave: enzimas, reductoras, biorreactor, planta de tratamiento, agua residual.





ABSTRACT

The application of a physical-biological process is proposed in a wastewater treatment plant, applying reducing enzymes, this design is mainly intended for housing complexes, livestock, and poultry sector. In order to provide economic solutions that reduce the emission of pollutants into the water, so that it can be discharged satisfactorily in accordance with the regulations, or even reuse the water for irrigation of green areas and reduce costs on water for irrigation and from then without compromising the health of the people who would come into indirect contact with that water.

The methodology by means of enzymes (Sewper Rx) allows to significantly reduce the sludge produced in the bioreactor by natural degradation of the same with the organic matter and this translates into economy in the medium and long term since it requires minimal periodic maintenance, in addition to not needing great knowledge to operate the Wastewater Treatment Plant. We worked with the dosages of: 1 ounce of enzyme per 1 ounce of sugar; 2 ounces of enzyme per 2 ounces of sugar; 1.5 ounces of enzyme per 1.5 ounces of sugar; ½ ounce of enzyme per ½ ounce of sugar; presenting the best removal results for the BOD, TSS and Sets parameters in the 1x1 and 2x2 dosages.

Key words: enzymes, reducers, bioreactor, treatment plant, wastewater.





ÍNDICE

RESUMEN	2
1 INTRODUCCIÓN	9
2 ANTECEDENTES	11
3 JUSTIFICACIÓN	13
4 HIPÓTESIS.....	13
5 OBJETIVO.....	13
6 MARCO TEÓRICO.....	13
6.1 Historia.....	13
6.2 Sistemas de tratamiento e infraestructura de aguas residuales	19
6.3 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales.....	20
6.3.1 Tratamiento según biodegradabilidad	21
6.3.2 Pretratamiento	21
6.3.3 Tratamiento primario	22
6.3.4 Tratamiento secundario	28
6.3.5 Tratamiento terciario o avanzado	37
6.4 Operaciones y procesos del tratamiento aguas residuales método enzimático	43
6.4.1 Diversidad de las aguas residuales	44
6.4.2 Aguas residuales domésticas o urbanas.....	44
6.4.3 Aguas residuales industriales	44
6.4.4 Aguas residuales de la agricultura y ganadería	45
6.4.5 Aguas residuales derivadas de la lluvia ácida	45
6.5 Tipos de contaminantes.....	45
6.5.1 Microorganismos patógenos.....	45
6.5.2 Desechos orgánicos.....	46
6.5.3 Sustancias químicas inorgánicas.....	46
6.5.4 Nutrientes vegetales inorgánicos	46
6.5.5 Compuestos orgánicos	46
6.5.6 Sedimentos y materiales suspendidos	46
6.5.7 Sustancias radiactivas.....	47
6.5.8 Contaminación térmica	47





6.6	Tratamiento y disposición de lodo.....	47
6.6.1	Sistema de control de olores.....	47
6.7	Consideraciones para la selección de tecnologías de aguas residuales.....	48
6.7.1	Tipo ambiental.....	48
6.7.2	Tipo técnico.....	48
6.7.3	Tipo económico.....	50
6.7.4	Tipo social.....	50
6.8	Calidad y Normativa.....	51
7	METODOLOGÍA.....	52
7.1	Determinación del Q (gasto de diseño).....	52
7.2	Diseño propuesto de la Planta Tratadora de Aguas Residuales por el método enzimático	55
7.3	Puesta en marcha.....	57
7.3.1	Trabajos iniciales.....	57
7.3.2	Muestra 1 (Agua de entrada).....	60
7.3.3	Cascada de oxigenación.....	62
7.3.4	Preparación de las enzimas.....	63
7.3.5	Primer Muestra de entrada y salida.....	66
7.3.6	Toma de segunda muestra de agua de entrada y salida.....	68
8	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	72
9	CONCLUSIONES.....	79
10	BIBLIOGRAFÍA.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS





Figura 1. Ventajas en el uso de PTAR con enzimas.	13
Figura 2. Procesos de tratamiento de aguas residuales en México.	20
Figura 3. Estrategias aplicadas de acuerdo con la biodegradabilidad del agua residual [16].	21
Figura 4. Ubicación de la PTAR del CIACI de la UMSNH.	53
Figura 5. Planos arquitectónicos de la PTAR del CIAC de la UMSNH.....	55
Figura 6. Proceso propuesto con enzimas.....	55
Figura 7. Tanque de tratamiento biológico.....	57
Figura 8. Tanque de tratamiento sin limpiar.....	58
Figura 9. Tanque de tratamiento después de bombear el agua.....	58
Figura 10. Vaciado del taque biológico al regulador.....	59
Figura 11. Canal para desagüe del tanque regulador.....	59
Figura 12. Limpieza del tanque regulador.....	60
Figura 13. Llenado del tanque biológico.....	60
Figura 14. Muestra de entrada de agua residual.....	61
Figura 15. pozo de visita común en la entrada a la planta.....	61
Figura 16. Extracción de la muestra.....	61
Figura 17. Perforación de la tubería de la cascada.....	62
Figura 18. Tubería de la cascada colocada.....	63
Figura 19. Cascada formada con la tubería de PVC.....	63
Figura 20. Preparación de las enzimas.....	65
Figura 21. Aplicación de las enzimas al tanque biológico.....	66
Figura 22. Muestras de salida 48 hrs.....	66
Figura 23. Muestra de agua con enzimas a las 48 hrs.....	67
Figura 24. Muestra de salida a los 5 días y tanque regulador de donde se tomó la muestra de entrada.....	68
Figura 25. Remociones obtenidas con la dosificación 1x1.....	72
Figura 26. Remosiones de SST con dosificación de 1x1.....	73
Figura 27. Remociones en Sólidos Sedimentables obtenidos con la dosificación 1x1.....	73
Figura 28. Remociones de DBO obtenidas con la dosificación de 2x2.....	74
Figura 29. Remociones de la dosificación de 2x2 en los SST.....	75
Figura 30. Remociones de SSed obtenidas con la dosificación de 2x2.....	75
Figura 31. Remociones de DBO de la dosificación 1 1/2 x 1 1/2.....	76
Figura 32. Remociones de SST de la dosificación 1 1/2 x 1 1/2.....	76
Figura 33. Remociones de SSed de la dosificación 1 1/2 x 1 1/2.....	77
Figura 34. Remociones de DBO obtenidas con la dosificación de 1/2 x 1/2.....	77
Figura 35. Remociones de SST obtenidas con la dosificación de 1/2 x 1/2.....	78
Figura 36. Remociones de SSed obtenidas con la dosificación de 1/2 x 1/2.....	79

ÍNDICE DE TABLAS





Tabla 1. Principales procesos de tratamiento biológico.	29
Tabla 2. Valores máximos permisibles para descarga en bienes nacionales NOM SEMARNAT 001.	52
Tabla 3. Obtención del gasto de diseño de la PTAR	53
Tabla 4. Dosificaciones propuestas para obtener una óptima.....	69

DEDICATORIAS





Dedico este trabajo a Dios, mis profesores y familia, en especial a mi sobrina Helen Itzel quien me da motivos para hacer muchas cosas y que me hace pensar en nunca darme por vencido, que Dios cumpla su propósito en su vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que nada a Dios padre, hijo y espíritu santo por darme la oportunidad de concluir este trabajo y guardarme durante mi vida hasta ahora y poner en mi camino los medios para llegar a esta meta tan importante, a pesar de ser tiempos difíciles él lo hizo posible.

Quero también agradecer a todas las personas que contribuyeron a este trabajo, a mis hermanos quienes en diferentes tareas me ayudaron en la elaboración de los trabajos de campo, así como de otras actividades, a mi Papá quien moralmente me apoya en todo lo que hago y es además una motivación muy importante para mí. Finalmente, quiero extender este agradecimiento especial al equipo de trabajo que hizo posible la conclusión del mismo, principalmente mi asesor Dr. Hugo Luis Chávez García, los Doctores Elia Mercedes Alonso Guzmán, Dr. Wilfrido Martínez Molina y Dr. Roberto García Acevedo, quienes fueron excepcionales, además de ser unas personas humanas y de quienes recibí apoyo en todo momento, de corazón les estaré agradecido por siempre. Además de investigadores excelsos, increíbles personas, que Dios les bendiga siempre y que sigan cosechando muchos éxitos. Ejemplo de trabajo y excelencia académica, laboratorio de Materiales "Ing. Luis Silva Ruelas". Se agradece el apoyo al laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental por realizar los análisis a las aguas tratadas en esta investigación.

Se agradece al Laboratorio de Materiales "Ing. Luis Silva Ruelas" por la herramienta prestada para realizar trabajos de limpieza, llenado de tanques, vaciado de tanques, y todas las facilidades brindadas.





1 INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua en los ríos y mantos acuíferos, lagos, así como la contaminación del suelo y los ecosistemas provocada por las aguas residuales provenientes de los drenajes es un problema serio y a su vez poco considerado, la agricultura y la ganadería son las dos actividades primarias que vierten más contaminantes, como el nitrato, el fosfato, los pesticidas y fertilizantes al agua. Cuando se hace el aseo de la casa, automáticamente pensamos en “buena higiene”, pero no nos preguntamos si es bueno para el medio ambiente.

Actualmente, en México la mayoría de las familias utilizan productos altamente contaminantes y no lo saben. Algunos de los más usados son los que entran en contacto con el agua y forman membranas en las paredes de ríos y océanos, evitando que se puedan restaurar y limpiar por sí solos.

Un ejemplo de ellos son los detergentes de ropa y trastes, el aceite de cocina, pintura, shampoo y acondicionadores, entre otros.

La presente investigación tiene lugar en la planta del Centro de Información, Arte y Cultura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CIAC). Esta planta tiene problemáticas de infiltración de agua proveniente del nivel freático, sin embargo, se espera solucionar esta problemática sellando la tubería del emisor en la etapa final de la recolección del drenaje. Se presenta una redistribución de la mecánica de funcionamiento, atendiendo las necesidades de la metodología de enzimas propuesta. Se realizaron diversas concentraciones (dosificaciones) en la aplicación de las enzimas, toda la experimentación se llevó a cabo bajo las condiciones propuestas para determinar la mejor dosificación según los resultados obtenidos.

Los aditamentos existentes en la planta funcionan dentro de lo esperado, sin embargo, fue necesario arreglar mecanismos y contactos eléctricos para poder así lograr su puesta en marcha y realizar la experimentación.





Previo a la experimentación con las enzimas, fue necesario realizar trabajos de limpieza y acondicionamiento del sitio, para posteriormente hacer las pruebas y analizar los resultados al final del proceso.





2 ANTECEDENTES

La situación actual en México, en los últimos años, en el desarrollo de la ecología molecular permitió poner en claro el escaso conocimiento que se desarrolla sobre el total de la población microbiana en los ecosistemas, además, cabe resaltar que la mayoría de las investigaciones realizadas para tratamiento de agua por métodos enzimáticos en México existe poco apoyo gubernamental de aportaciones económicas para la generación de industrias que apliquen estas tecnologías.

Desafortunadamente este beneficio proveniente de fuentes naturales actualmente no se ha podido realizar industrialmente debido a la falta de recursos económicos los cuales limitan el crecimiento de nuevas biotecnologías en México, y no tanto por el apoyo a investigaciones, sino por la escasa planificación de empresarios del área que no logran percibir el enorme beneficio tanto productivo como económico que traería la implementación de este tipo de tecnologías en la industria [1].

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.

Debido a la falta de coordinación entre usuarios y autoridades, aunado a la falta de un adecuado tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas, se conduce a la sobre explotación del recurso, a la contaminación de ecosistemas, a 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.





Es sabido que, las aguas residuales se componen de aguas municipales e industriales, por lo tanto, contienen una variedad de contaminantes, entre ellos se encuentran agentes patógenos, detergentes y metales pesados, que pueden dañar el ambiente y la salud humana y animal. Las aguas residuales, sin embargo, se utilizan para el riego en regiones con escasez de este recurso natural en diferentes partes del mundo [2].

El término aguas residuales, se utiliza para caracterizar diferentes cualidades, que van de aguas residuales crudas, hasta las diluidas generadas a partir de diversas actividades urbanas. Estas actividades van desde uso doméstico, comercial, industrial, agua de lluvia y las corrientes de agua urbana, aguas residuales tratadas, las aguas residuales recuperadas, lodos y biosólidos [3].

Normalmente las aguas residuales domésticas y municipales se componen de 99% de agua y 0,1% suspensiones coloidales, sólidos disueltos orgánicos y compuestos inorgánicos, incluidos los macronutrientes tales como el nitrógeno, fósforo, potasio, así como micronutrientes como hierro, cobre, zinc y boro entre otros [4]. Además las aguas residuales industriales tienen materiales disueltos como productos químicos diversos y agentes patógenos [4].

Estos materiales y composición que tienen las aguas residuales han contribuido a la generalización ecológica y problemas de salud en los alrededores de las ciudades. Pero la exposición diaria al agua contaminada y en especial las aguas residuales, conlleva diferentes problemas, al establecer contacto con la piel, durante la inhalación, consumo directo de las aguas o al comer las verduras crudas producidas con estas aguas [5].

Las aguas residuales contienen microorganismos y sustancias químicas que son un riesgo para la salud humana y el medio ambiente [6], ya que provocan enfermedades como el cólera y tifoidea entre muchas otras.





3 JUSTIFICACIÓN

La metodología por medio de enzimas permite eliminar los lodos producidos en el biorreactor por degradación natural de las mismas con la materia orgánica y esto significa economía a mediano y largo plazo, así como a lo largo de su vida útil.



Figura 1. Ventajas en el uso de PTAR con enzimas.

4 HIPÓTESIS

Con el uso de enzimas Sewper Rx es posible lograr una remoción de sólidos relacionados con materia orgánica en la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) del Centro de información Arte y Cultura (CIAC) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, de manera que cumpla con la normativa correspondiente y reducir la contaminación del lugar de vertido.

5 OBJETIVO

Aplicar el procedimiento a base de enzimas Sewper Rx en la PTAR del CIAC que reduzca los contaminantes de materia orgánica en el agua residual, a valores permisibles por la normativa correspondiente NOM001.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Historia

Se puede definir como agua residual aquella que procede del empleo de un agua natural o de la red en un uso determinado. La eliminación del agua residual se conoce como vertido.





El desarrollo de la teoría del germen a cargo de Koch y Pasteur en la segunda mitad del siglo XIX marcó el inicio de una nueva era en el campo del saneamiento. Antes de estos estudios no se había profundizado demasiado en la relación existente entre contaminación y contaminantes [7]. Snow en 1849 demostró la transmisión del cólera a través de aguas contaminadas por aguas residuales; a partir de este momento se tomó conciencia de que las aguas residuales eran transmisoras de enfermedades y por lo tanto un problema que resolver [8].

Las aguas residuales, además de patógenos, contienen otras muchas sustancias contaminantes; definir de una forma exacta lo que es un agua residual es complejo, ya que está en función de las características que se den en cada población o industria, y también depende del sistema de recogida que se emplee, pudiendo ser:

- Aguas residuales domésticas, procedentes de zonas residenciales o similares.
- Infiltraciones y aportaciones incontroladas, son aguas que entran de forma directa o indirecta en la red de alcantarillado y no se conoce demasiado su composición.
- Aguas pluviales, que son aguas resultantes de las escorrentías superficiales, con contaminantes en metales pesados.
- Aguas de complejos industriales u hospitalarios.

Las zonas residenciales y los centros comerciales constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales urbanas, por lo tanto, la cantidad de agua residual depende directamente de la cantidad de población, por ello es muy típico hacer una determinación del caudal del agua residual en función de la población equivalente. El caudal de agua residual es variable a lo largo del día, y también a lo largo del año [7].

La importancia del control de la contaminación del agua en los últimos años ha incrementado debido al deterioro ambiental causado por el crecimiento demográfico e industrial, haciendo que cada día cobren mayor importancia los residuos generados en los distintos procesos industriales [9]. La contaminación del agua es un problema que todos





nosotros vivimos en la actualidad, ya que no solo se da en los países industrializados o los menos industrializados, sino que afecta a todos y cada uno de los sectores de cada población.

Muchos piensan que este recurso que es muy indispensable para nosotros siempre va a estar ahí, pero la verdad es que no es así, ya que no tomamos conciencia de los actos o de las actividades que realizamos con este recurso.

Ante estas problemáticas, el saneamiento de las aguas residuales adquiere más importancia para asegurar su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y la salud de la población. Una de las prioridades a nivel nacional debe ser el garantizar que a las aguas residuales generadas se les dé un tratamiento efectivo en su totalidad. Por ello se debe garantizar que todos los habitantes tengan acceso a una forma segura de disponer de sus aguas, evitando problemas de salud pública sin afectar al medio ambiente y que garanticen la gestión integral de los recursos hídricos. En este sentido, resulta necesario y urgente el uso de ecotecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente. Su inicio data de fines de 1800 y principios del actual siglo y coincide con la época de la higiene. Esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre la contaminación de los cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico. En un principio, el tratamiento se hacía mediante la descarga de las aguas residuales al suelo, pero rápidamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber el cada vez mayor caudal de aguas residuales. En Inglaterra, después de la epidemia del cólera de mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los sistemas de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales recibió poca atención. Debido a lo pequeño de sus ríos en longitud y caudal, la contaminación del agua, pronto se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo dirigido a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud pública. A fin de evitar afectaciones a la salud pública, se idearon y llevaron a la práctica nuevos métodos de tratamiento intensivos. De este modo, se estudió la precipitación química, digestión de





lodos, filtración intermitente en arena, filtración en lechos de contacto, aeración de aguas residuales y finalmente en 1912 se desarrolló del proceso de lodos activados. A continuación se indican cronológicamente eventos relevantes del tratamiento de aguas:

A. C. Irrigación con aguas residuales - Atenas, Grecia

1550 Uso de aguas residuales en agricultura - Alemania

1700 Uso de aguas residuales en agricultura - Reino Unido

1762 Precipitación química de aguas residuales - Reino Unido

1860 Dispositivo de Mouras. Tratamiento anaerobio de sólidos de aguas residuales

1865 Experimentos sobre microbiología de digestión de lodos - Reino Unido

1868 Investigaciones sobre filtración intermitente de aguas residuales - Reino Unido

1870 Filtración en arena de aguas residuales - Reino Unido

1876 Primeras fosas sépticas - EE. UU.

1882 Experimentos sobre aeración de alcantarillas - Reino Unido

1884 Introducción de las rejillas de desbaste – EE.UU.

1887 Estación experimental de Lawrence para el estudio de agua y aguas residuales. Massachusetts - EE. UU.

1887 Primera planta de precipitación química - EE.UU.

1889 Filtración en lechos de contacto - Massachusetts, EE.UU.

1891 Digestión de lodos - Alemania

1895 Recolección de metano de fosas sépticas y su empleo en alumbrado - Reino Unido

1898 Molinete hidráulico para filtros percoladores - Reino Unido





1904 Empleo de desarenadores - EE.UU.

1904 Fosa séptica Travis de dos pisos - Reino Unido

1906 Tanque Imhoff – Alemania. Primera planta en 1908.

1906 Cloración de aguas residuales - EE.UU.

1908 Ley de Chick - EE. UU.

1911 Aplicación de tanques Imhoff - EE.UU.

1911 Digestión separada de lodos - EE.UU.

1914 Ardern y Locket publican su trabajo sobre «lodos activados».

1916 Primera planta municipal de lodos activados

1954 Inicia la operación de la primera planta de lodos activados en la Ciudad de México

1957 Pöpel y Hartmann desarrollan y patentan los biodiscos

1961 En EE.UU. Ludzac y Ettinger, y en Suiza, 1964 Whurmann definen las características de la nitrificación y desnitrificación

1965 Levin y Shapiro, desarrollan las bases del sistema PhoStrip®

1967 William Irvine y Lloyd Ketchum, de la Universidad de Notre Dame en EE.UU. patentan los sistemas SBR (sequencing batch reactor)

1973 En Sudáfrica, James Barnard patenta el proceso BarDenPho® (en la década de 1970, se desarrollaron otros procesos: A/O (anaerobic-oxic) y A2/O (anaerobic-anoxic-oxic) para remoción de nutrientes.

1976 Gatze Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda, implementó por primera ocasión el reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés) en una industria azucarera.





1990 - 1992 En Francia, la compañía OTV desarrolla los filtros biológicos aerados y patenta el Biostyr®

1996 En Holanda, la compañía STOWA patenta el proceso SHARON® (nitrificación controlada)

1999 El Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología, patenta la primera celda de combustible microbiana, que da inicio a una serie de estudios para producir electricidad a partir del tratamiento de aguas residuales.

2000 En Alemania se construye la primera planta (SBR) con Anammox (oxidación anaerobia de amonio con nitratos).

2008 El grupo de investigación del Dr. Mark Van Loosdrecht, de la Universidad Técnica de Delft en Holanda, desarrollan el proceso NEREDA®, que permite la granulación aerobia, de tal manera que se admite la reducción del tamaño de los sedimentadores.

2009 En el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, se logra operar un sistema de producción automatizado para la producción de polihidroxicanoatos (biopolímeros precursores de los plásticos) usando lodos activados y biorreactores discontinuos.

2010 En la Universidad de Stanford se desarrolla el proceso CANDO® (Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation), que convierte la forma más común del nitrógeno (NH₄⁺) en nitrógeno gas, mientras que simultáneamente se genera energía y se recupera fósforo.

2011 En el laboratorio de Ingeniería Química Ambiental y Química ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, inicia el desarrollo de una tecnología para la producción de electricidad a partir del tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales [10].





De acuerdo con la reforma al artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicada el 8 de febrero de 2012, “toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible” [11]. La reforma también establece la participación de los tres órdenes de gobierno y la misma sociedad para garantizar este derecho. Sin embargo, la escasez de agua de calidad es una situación común en todo el país. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2018) en México solo se trata el 50% de las aguas residuales entre municipales e industriales. Mientras que en las comunidades rurales (cerca de 5000 \leq 2500 habitantes), la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales difícilmente es considerada, en tales casos las comunidades tienden a descargar sus aguas residuales a cielo abierto o en otras fuentes de agua como lagos, lagunas, ríos, o el mar [12].

En dicha situación esos cuerpos de descarga se vuelven a su vez un foco de infecciones, afectando además la flora y fauna nativa del ecosistema, desprendiendo malos olores, dando un mal aspecto y dejan de ser áreas seguras para uso recreativo. Ante tal situación la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales y la búsqueda de opciones para contar con mayor cantidad de agua de calidad resulta pertinente. Una de las situaciones por las que existe insuficiente número de plantas de tratamiento es debido al alto costo que estas involucran en cuanto a diseño, instalación, operación y mantenimiento, entre los que se resaltan también los altos consumos de energía que éstas requieren.

El agua y la salud de la población son dos aspectos de la vida diaria que están interrelacionados de manera inseparable y vital, cabe reconocer que la calidad del agua condiciona la calidad de vida de la humanidad. A nivel mundial, se estima que se generan 842 000 muertes anuales debidas a la ausencia de agua salubre y a un saneamiento e higiene deficientes [13], e incluyen 361 000 fallecimientos de niños menores de 5 años, la mayor parte de ellos en países de ingresos bajos [14].

6.2 Sistemas de tratamiento e infraestructura de aguas residuales

En México, las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las municipales corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado





urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida. Las aguas residuales son recibidas en plantas de tratamiento para la remoción de sus contaminantes, previo a su descarga a cuerpos de agua. Dentro de la infraestructura hidráulica con la que cuenta el país para dar el tratamiento de aguas residuales al año 2020 se encuentran las siguientes: 2786 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación y 2603 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación [15].

Principales procesos de tratamiento de aguas residuales

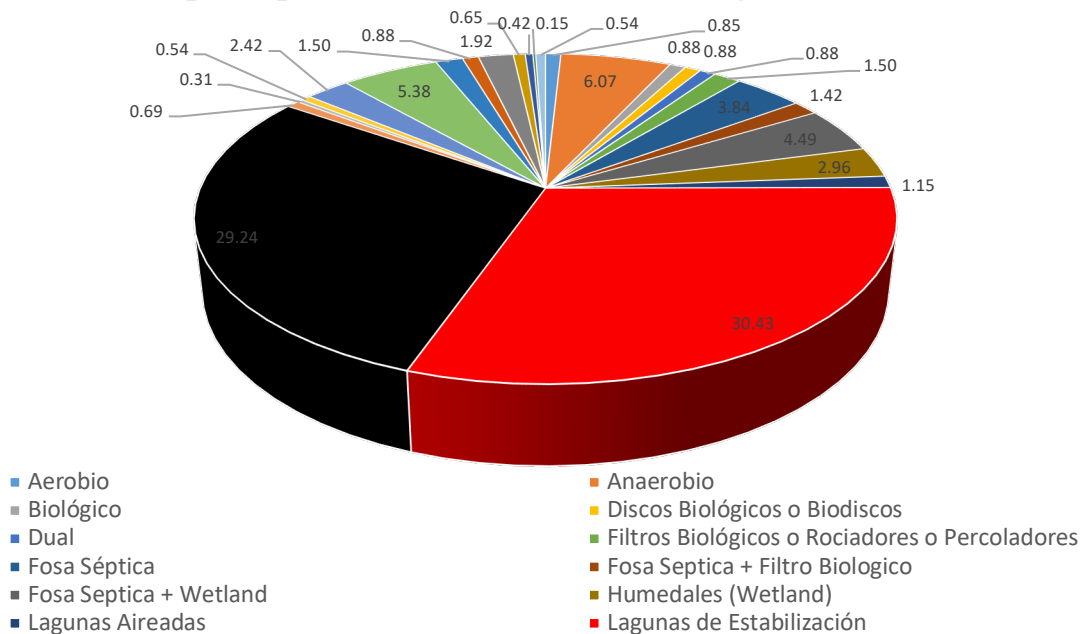


Figura 2. Procesos de tratamiento de aguas residuales en México.

En México se reportan como los principales procesos de tratamiento de aguas residuales los indicados en la gráfica 2. Donde es posible apreciar que las lagunas de estabilización representan el principal proceso, seguido de los lodos activados.

6.3 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales

Las aguas generadas de los procesos industriales requieren un tratamiento antes de su descarga. En la etapa inicial por lo general predomina los fenómenos físicos, que corresponden a las operaciones unitarias, luego se utilizan procesos químicos y biológicos,





conocidos como procesos unitarios para eliminar los sólidos suspendidos, usualmente se realiza una combinación de procesos y operaciones unitarias. Las aplicaciones de los mismos darán lugar a los tratamientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios [16].

6.3.1 Tratamiento según biodegradabilidad

De acuerdo a Osorio, 2014, los tratamientos según su biodegradabilidad se dividen en 2 grandes grupos: si el agua es biodegradable generalmente se utilizan tratamientos biológicos y si no es biodegradable o parcialmente biodegradable, se utilizan los tratamientos de oxidación avanzado para eliminar los contaminantes [16]. Lo cual se puede ver en la Figura 3.

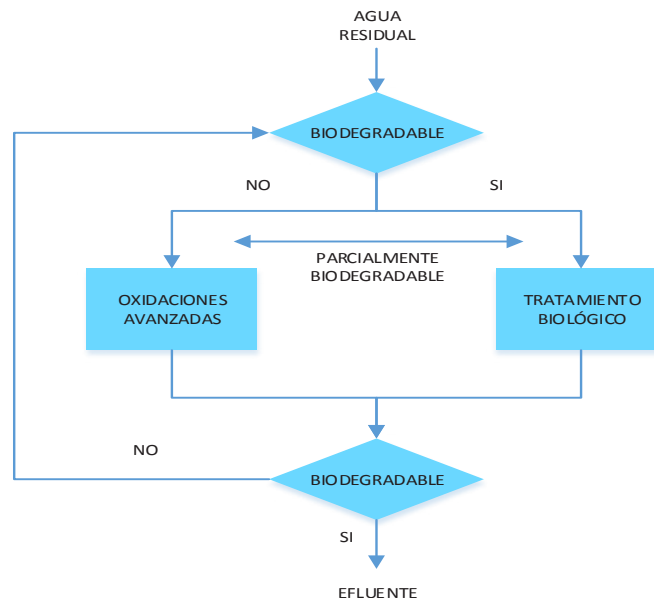


Figura 3. Estrategias aplicadas de acuerdo con la biodegradabilidad del agua residual [16].

6.3.2 Pretratamiento

El pretratamiento se aplica para eliminar todo el material grueso que generalmente está flotando y que da impacto visual negativo. La función es extraer de las aguas brutas la mayor cantidad posible de las materias que arrastran, y que posteriormente ocasionarían problemas en los tratamientos posteriores (tales como obstrucción de tuberías, formación de costras, enarenado de digestores anaerobios, etc).





En ocasiones es necesario aplicar pre cloración, pre aireación, pre decantación antes de operaciones como desbaste, desarenado desengrasado etc. [17]

Objetivos principales del empleo de pretratamiento:

- Eliminar los sólidos gruesos como basura
- Separar las partículas discretas como arena
- Separar grasas, aceites y espuma

Las operaciones de pretratamiento que se incorporarán en la cabecera de la línea de agua de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) serán función de:

- La calidad del agua bruta (presencia de mayor o menor cantidad de sólidos, arenas, grasas, etc.)
- El tipo de tratamiento posterior en la línea de agua
- El sistema de tratamiento de fangos empleado
- La importancia de la instalación

6.3.3 Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como objetivo la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual y como estos están constituidos por materia orgánica, el tratamiento primario va a producir una reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, igualmente se consigue una reducción de la contaminación bacteriológica, mediante sedimentación u otro medio, y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario. Por lo regular el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y 35 a 40% de la DBO suspendida [17,18].

Los sólidos en suspensión incluyen:

- Los sólidos sedimentables (que se separan al permanecer el agua residual en reposo durante una hora).





- Los flotables (definibles por contraposición a los sedimentables) y parte de los sólidos coloidales (tamaño entre 10-3 y 10 micras). Los tamaños superiores a 200 micras ya fueron eliminados en el desarenador [18].

6.3.3.1 Procesos considerados en tratamiento primario

Los principales procesos y operaciones unitarias aplicadas en tratamiento primario son:

- Neutralización
- Coagulación (proceso físico químico) y Floculación
- Sedimentación o decantación primaria
- Flotación

6.3.3.1.1 Neutralización

Entre los tratamientos primarios está el proceso de neutralización de las aguas residuales. La neutralización o ajuste del pH, para tener un rango cercano a 7, es una de las etapas primordiales dentro del tratamiento de las aguas y aguas residuales que permite proteger las fuentes receptoras de las descargas alcalinas o ácidas fuertes o el post tratamiento de dichos residuos.

Muchas descargas industriales ocurren en condiciones de acidez o alcalinidad que son incompatibles con las normas de descarga, los procesos biológicos o físico-químicos posteriores. En particular, los sistemas biológicos requieren un pH entre 6.5 y 8.5 y, además, producen CO₂.

En los procesos biológicos, por ejemplo, su operación depende de una neutralización adecuada y, por lo tanto, la disminución de la DBO está relacionada con el contenido de la alcalinidad o acidez o el consumo de ácido, que es distinto del pH.

La neutralización de las aguas ácidas se logra comúnmente agregando óxido de calcio, óxido o hidróxido de magnesio e hidróxido de sodio. La cal (óxido de calcio) o su forma hidratada, hidróxido de calcio, es la más usada por su costo bajo.





Para la neutralización de las aguas alcalinas, se agregan, comúnmente, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y anhídrido carbónico (en plantas donde hay disponibilidad de dicho compuesto).

El ácido sulfúrico (H_2SO_4) es el más económico y usado; es fuertemente corrosivo, denso, aceitoso, color carmelita claro u oscuro, según su pureza; debe estar libre de metales pesados y se consigue en concentraciones del 60 al 94%- H_2SO_4 : diluido es extremadamente corrosivo [19,20].

6.3.3.1.2 Coagulación

En una planta de tratamiento de aguas se utiliza las pruebas en jarras, para determinar las dosis más convenientes de coagulante para un agua problema, durante el control de la coagulación y floculación, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente [19]. Se deben preparar soluciones madres de los coagulantes, coadyuvantes coagulantes y otros reactivos químicos a concentraciones tales que las cantidades adecuadas para utilizarse en las pruebas de coagulación se puedan medir exacta y convenientemente.

Las pruebas en jarras con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 2 litros. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
2. Colocar en cada vaso exactamente 2 litros medidos con una probeta graduada, de una muestra fresca del agua cruda.
3. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos. Por ejemplo: 10 mg. /l en el vaso #1, 20 mg/l en el vaso #2, etc.





5. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.
6. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 30 rpm. Aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación igualen las condiciones de operación de la planta de floculación.
7. Anotar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiece a formar un floculo.
8. Observar qué tan bien resiste éste, algo de agitación sin fragmentarse.
9. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el floculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el floculo se asiente durante 20 min, determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.
12. Después de permitir que el flóculo se asiente en el fondo durante 30 min., filtrar el sobrenadante a través de un papel filtro.
13. Filtrar otros 100 a 150 ml de muestra.
14. Determinar la turbiedad, pH, color y, si es necesario, el aluminio residual en el filtrado.
15. La jarra que proporcione los mejores resultados indica la dosis adecuada de coagulante para la planta en cuestión [21].

6.3.3.1.3 Sedimentación

La sedimentación es la separación de partículas más pesadas en el agua mediante la acción de la gravedad. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.





Existen tres tipos de sedimentación [21]:

- **Sedimentación de partículas floculantes:** Este tipo de sedimentación se presenta cuando las concentraciones son bajas (SS por debajo de 300 – 500 mg/l).

Esta sedimentación se presenta en aguas con concentraciones relativamente bajas de sólidos en suspensión. Para entender este proceso se parte del estudio de un tanque de sedimentación ideal, similar al utilizado para el estudio del proceso de decantación libre, las partículas al caer colisionan unas con otras formando agregados, aumentando de tamaño y por consecuencia su velocidad de sedimentación. La velocidad de descenso ya no es constante y las trayectorias ya no son rectilíneas, sino que van formando una curva

- **Sedimentación zonal:** Se presenta cuando tenemos concentraciones intermedias de sólidos (500 – 5000 mg/l).

En los sistemas que contienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión además de la sedimentación libre o discreta y de la sedimentación floculante también suelen darse otras formas de sedimentación, como la sedimentación zonal (tipo 3) y la sedimentación por compresión (tipo 4). El fenómeno de sedimentación que ocurre cuando se introduce en un cilindro graduado una suspensión concentrada, con concentración inicialmente uniforme. Debido a la alta concentración de partícula, el líquido tiende a ascender por los intersticios existentes entre aquellas. Como consecuencia de ello las partículas que entran en contacto tienden a sedimentar en zonas o capas manteniendo entre ellas las mismas posiciones relativas. Este fenómeno se conoce como sedimentación retardada. Conforme van sedimentando las partículas, se produce una zona de agua relativamente clara por encima de la región de sedimentación.

- **Sedimentación por compresión o de espesamiento:** Se presenta cuando las concentraciones de sólidos son muy altas (> 5000 – 10000 mg/l).

A medida que avanza el proceso de sedimentación, comienza a formarse en el fondo del cilindro una capa de partículas comprendidas, en la zona de sedimentación por compresión.





Aparentemente, las partículas de esta región forman una estructura en la que existe contacto entre ellas. Al formarse la región o capa de compresión, las capas en las que las concentraciones de sólidos son, sucesivamente, menores que en la zona de compresión tienden a ascender por el tubo. Por lo tanto, de hecho, la zona de sedimentación zonal o retardada presenta una graduación de concentraciones de sólidos comprendida entre la zona de compresión y la de sedimentación. Según Dick y Ewing, las fuerzas de interacción física entre las partículas, especialmente intensas en la zona de compresión, disminuyen con la altura pudiendo existir, en alguna medida, en la zona de sedimentación retardada. Generalmente, debido a la variabilidad de los resultados obtenidos, la determinación de las características de sedimentabilidad de las suspensiones en las que la sedimentación zonal y la sedimentación por compresión desempeñan un papel importante suele realizarse mediante ensayos de sedimentación.

6.3.3.1.4 Flotación

La flotación es una operación unitaria que se emplea para la separación de partículas flotables y emulsiones de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, además de favorecer la ascensión de las partículas cuya densidad es inferior, como el caso del aceite en el agua [7].

La flotación por aire disuelto (FAD) además de eliminar materia sólida y/o líquida de densidad inferior a la del agua, es capaz de eliminar sólidos de densidad superior. El proceso FAD consiste en la creación de microburbujas de aire en el seno del A.R., las cuales se unen a las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar por tener una densidad inferior a la del agua. Por tanto, se puede decir que el objetivo de este proceso en el tratamiento primario es doble: reducción de materias flotantes y reducción de los Sólidos suspendidos del efluente.





6.3.4 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario o tratamiento biológico tiene como objetivo principal la reducción de materia orgánica coloidal como la materia orgánica disuelta. El proceso se basa en que microorganismos adecuados consuman la materia orgánica, mediante la coagulación. Después de un proceso biológico el efluente pasa a una sedimentación secundaria con el fin de eliminar el floculo biológicos que se ha generado.

6.3.4.1 Depuración biológica

El proceso biológico se basa en el consumo de materia orgánica por organismos adecuados principalmente bacterias que convierten la materia orgánica carbonosa coloidales y disueltos en diferentes gases y tejido celular y como el tejido celular tiene peso específico mayor que el agua se puede eliminar por decantación. En esta etapa se consiguen importantes rendimientos en eliminación de DBO [22].

Existen cuatro grupos principales de procesos biológicos, tabla 1: procesos aerobios, procesos anóxicos, procesos anaerobios y procesos combinados aerobios con anóxicos o con anaerobios. Dentro de cada grupo hay diferentes tipos dependiendo el tipo de crecimiento, así mismo dependiendo del régimen de flujo predominante los procesos pueden ser de flujo continuo o intermitente y del tipo de mezcla completa, flujo en pistón o flujo arbitrario.





Tabla 1. Principales procesos de tratamiento biológico.

CRECIMIENTO	PROCESO	USO PRINCIPAL
SUSPENDIDO	LODOS ACTIVADOS	REMOCIÓN DE DBO Y NITIRIFICACIÓN
	- CONVENCIONAL	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
	- MEZCLA COMPLETA	
	- AIREACIÓN ESCALONADA	
	- ESTABILIZACIÓN Y CONTACTO	
	- OXÍGENO PURO	
	- TASA ALTA	
	- AIREACIÓN PROLONGADA	
	- PROCESO DE KRAUSS	
	- ZANJON DE OXIDACIÓN	
	- LAGUNAS AIREADAS	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
	- DIGESTIÓN AEROBIA	REMOCIÓN DE DBO - ESTABILIZACIÓN
	- LAGUNAS AEORBIAS	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
ADHERIDO	FILTROS PERCOLADORES	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
	- TASA BAJA	
	- TASA ALTA	
	TORRES BIOLÓGICAS	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
	TORRES BIOLÓGICAS UNIDADES ROTATORIAS DE CONTACTO BIOLÓGICO	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
	REACTORES DE LECHO FIJO	REMOCIÓN DE DBO Y NITRIFICACIÓN
SUSPENDIDO	BARDENPHO	REMOCIÓN DE DBO, N Y P REMOCIÓN DE NITRÓGENO REMOCIÓN DE NITRÓGENO
ADHERIDO	DESNITRIFICACIÓN	
SUSPENDIDO	DIGESTIÓN ANAEROBIA ANAEROBIO DE CONTACTO	REMOCIÓN DE DBO – ESTABILIZACIÓN REMOCIÓN DE DBO
HÍBRIDO	LAGUNAS ANAEROBIAS MANTO DE LODOS – FLUJO ASCENSIONAL (PAMLA) O UASB	REMOCIÓN DE DBO – ESTABILIZACIÓN REMOCIÓN DE DBO Y SS
ADHERIDO	FILTRO ANAEROBIO	REMOCIÓN DE DBO – ESTABILIZACIÓN
	LECHO EXPANDIDO	REMOCIÓN DE DBO – ESTABILIZACIÓN

6.3.4.1.1 Procesos biológicos, aeróbicos y anaeróbicos

Los tratamientos biológicos de aguas residuales (reactores aeróbicos y anaeróbicos) aprovechan la capacidad de determinados microorganismos (entre los que destacan las bacterias) de asimilar la materia orgánica y los nutrientes disueltos en el agua residual a tratar para su propio crecimiento, llevando a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. La materia orgánica soluble es asimilada por los microorganismos como fuente





de carbono. Tras esta operación se separa por decantación la biomasa generada del sobrenadante. Para el crecimiento de los microorganismos es necesario, aparte de la materia orgánica, la presencia de nitrógeno y fósforo en el efluente. Si su concentración no es suficiente, se deberán aportar al tratamiento.

La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen nitrógeno y fósforo. Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales, por su sencillez y su bajo coste económico de operación.

Los únicos requisitos para la aplicación satisfactoria de estas tecnologías son que la contaminación sea biodegradable y que no haya presencia de ningún compuesto biocida en el efluente a tratar.

Los microorganismos pueden asimilar la materia orgánica consumiendo oxígeno, o bien en completa ausencia de éste, lo que nos lleva a disponer de 2 sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales:

Sistemas Aeróbicos

Sistemas Anaeróbicos

La selección del tipo de proceso biológico más conveniente se debe analizar caso a caso en función de las características del efluente a tratar [23].

6.3.4.1.1.1 Discos biológicos o biodiscos

Los biodiscos son básicamente instalaciones de discos con superficie cubierta de biomasa en condiciones aerobias que, en régimen continuo, consumen materia orgánica presente en el agua residual afluente. Es, además, considerada parte de las tecnologías de tratamiento biológico secundario del tipo de crecimiento de biomasa adherida a un soporte, o reactor de película fija. Desde el punto de vista estructural consisten en placas sintéticas





que rotan montadas sobre un eje horizontal a velocidad variable, sumergidas parcialmente en un tanque donde está contenida el agua residual [24].

El reactor biológico de discos rotatorios o biodiscos forma parte de los llamados procesos de biopelícula, constituyendo una variante de depuración de aguas residuales que puede brindar resultados comparables con cualquier otro tipo de sistema de depuración convencional. Las reducciones del contenido de materia orgánica (expresada como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda Química de Oxígeno (DQO)) obtenidas por este sistema de tratamiento, pueden variar entre 80 y 95 % para aguas residuales municipales, pudiéndose obtener además altos niveles de nitrificación [19].

6.3.4.1.1.2 Introducción al metabolismo microbiano

6.3.4.1.1.2.1 Enzimas

Una enzima es un catalizador biológico. Es una proteína que acelera la velocidad de una reacción química específica en la célula. La enzima no se destruye durante la reacción y se utiliza una y otra vez. Una célula contiene miles de diferentes tipos de moléculas de enzimas específicos para cada reacción química particular [20].

6.3.4.1.1.2.2 Funcionamiento de las enzimas

Las enzimas producidas por las bacterias se utilizan para catalizar la digestión de ciertas moléculas orgánicas grandes para que puedan absorber las muy pequeñas de compuestos de nutrientes pre-digerido alimentos. Cada tipo de enzima sólo puede ser capaz de degradar contaminantes específicos, catalizar reacciones químicas y sólo con sustancias seleccionadas. Por lo tanto, ciertas enzimas pueden tratar solo ciertos tipos de contaminantes orgánicos. Sustratos tales como fenoles, clorofenoles, fenoles metilados, bifenoles, anilinas, benzidines y otros heterocíclicos compuestos aromáticos que se encuentran bajo condiciones diluidas y son menos sensibles a perturbaciones operacionales también pueden ser tratados por enzimas. Entre estas enzimas, oxidorreductasas, laccases, y peroxidases tienen un gran potencial en la selección de un amplio espectro de contaminantes orgánicos. Estas enzimas convierten una gama de sustratos insolubles en





compuestos menos tóxicos, los cuales se puede eliminar fácilmente a partir de residuos [25,26].

6.3.4.1.1.2.3 Tipos de enzimas

Algunas enzimas catalizadoras son las siguientes:

6.3.4.1.1.2.4 Horseradish peroxidase (HRP)

Puede catalizar la oxidación de fenoles, bifenoles, anilinas, y benzidines relacionado compuestos heteroaromático. HRP es adecuada para el tratamiento de aguas residuales, ya que mantiene su actividad en un amplio rango de pH y temperatura. Las peroxidasa son enzimas que catalizan la oxidación de un amplio número de compuestos recalcitrantes, las cuales han sido utilizadas en procesos de decoloración y tratamiento de efluentes textiles. [27,28].

6.3.4.1.1.2.5 Chloroperoxidase (CPO)

El hongo *Caldariomyces fumago* ha informado en investigaciones que sirve para oxidar varios compuestos fenólicos, además de la oxidación de etanol y la oxidación de aldehído [29,30].

6.3.4.1.1.2.6 Manganese peroxidase (MnP)

La peroxidasa de manganeso (MnP) cataliza la oxidación de varios monoaromático fenoles y colorantes aromáticos, depende tanto divalente manganeso y ciertos tipos de tampones. La enzima exige de altas concentraciones de Mn para que la viabilidad en su aplicación del tratamiento de aguas residuales.

6.3.4.1.1.2.7 Lignin peroxidase (Lip)

(Peroxidasa de Ligina) son bastante bien conocidos, especialmente los procedentes del basidiomiceto como *Phanerochaete chrysosporium*. LiP de diferentes fuentes se muestra para mineralizar una variedad de compuestos aromáticos recalcitrantes y para oxidar un número de compuestos policíclico aromático y fenólicos [31].





6.3.4.1.1.2.8 *Tyrosinase*

La Tirosinasa se conoce como un polifenol oxidasa o catecolasa. Esta cataliza la hidroxilación de monofenoles con oxígeno molecular para formar o-bifenoles y luego por deshidrogenación se transforma a o-quinonas que se posteriormente se somete a una polimerización no enzimática [32].

6.3.4.1.1.2.9 *Laccase*

La Lacasa es un fenol oxidasa que cataliza la oxidación de varias sustancias aromáticas e inorgánicas (en particular fenoles) con la reducción concomitante de oxígeno al agua. En general, las lacasas presentan cuatro átomos de cobre vecino, que se distribuyen entre diferentes sitios de unión y se clasifican en tres tipos: el tipo de cobre 1, 2 y 3 que se diferencian por propiedades características específicas que permiten que jueguen un papel importante en el mecanismo catalizador de la enzima [33].

6.3.4.1.1.2.10 *Características de las enzimas*

Las enzimas presentan una serie de características notables como las siguientes:

- Son proteínas que poseen un efecto catalizador al reducir la barrera energética de ciertas reacciones químicas.
- Influyen sólo en la velocidad de reacción sin alterar el estado de equilibrio.
- Actúan en pequeñas cantidades.
- Forman un complejo reversible con el sustrato.
- No se consumen en la reacción, pudiendo actuar una y otra vez.
- Muestran especificidad por el sustrato.
- Su producción está directamente controlada por genes.

Estas características tan especiales pueden ser explicadas, según nuestro criterio, mediante el concepto de Información. En el trabajo una nueva teoría acerca de las “diluciones homeopáticas”, definimos a la Información como la disposición a actuar, y de una determinada manera, que presenta un ente cualquiera, en este caso, un ente biológico, en presencia del receptor adecuado. La Información latente en la compleja microestructura





proteica de la enzima, representa una disposición a actuar que solamente se puede hacer activa en presencia del receptor adecuado, que en este caso es el sustrato correspondiente [34].

La Información se expresa, como ya sabemos, únicamente existiendo un estado neguentrópico. Y ese estado neguentrópico lo encontramos cada vez que hay una reacción química lejos de su equilibrio. Así, entonces, cuando alguna enzima está frente a su sustrato específico, actúa constituyendo con él un complejo reversible, el ya mencionado complejo enzima-sustrato.

La formación de este complejo representa el punto culminante de la acción catalizadora de una enzima (estado de transición). Pues es a nivel de este complejo que se produce la "activación" del sustrato, facilitándose así el proceso químico catalizado.

Si comparamos una misma reacción química con y sin enzimas, apreciamos cómo en el primer caso la magnitud de la energía de activación, es decir, la cantidad de energía necesaria para que la reacción se desencadene es mucho menor que en el segundo caso. De ahí que se diga que la enzima reduce la energía de activación requerida para acelerar cierta específica reacción química.

6.3.4.1.1.3 Tratamiento aerobio

6.3.4.1.1.3.1 Lodos activados

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Ardra y Lockett [7], y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. Desde el punto de vista de funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados se realiza a través de un tanque o reactor biológico, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión y se realiza la oxidación de la materia orgánica. El contenido del reactor se conoce con el nombre de "líquido mezcla". El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores, que también sirve para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.





Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema (lodo en exceso). En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. En el reactor, o tanque biológico, las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas.

El de aireación prolongada es una variante del proceso de flujo en pistón con recirculación, donde todas las partículas que entran en el reactor biológico permanecen en el interior del mismo durante idéntico periodo de tiempo.

El agua procedente del tratamiento primario: Arqueta de desbaste, cámara de grasas, pasa al tanque de aireación donde es mezclada con aire disuelto que fluye por los difusores siendo uniforme este suministro de aire disuelto que fluye por los difusores siendo uniforme este suministro de aire a lo largo de toda la longitud del tanque. Durante el periodo de aireación se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario. Este proceso necesita de una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación [23].

El proceso de lodo activado ha demostrado ser muy eficaz tanto en el tratamiento de vertido urbano como en el tratamiento de vertidos industriales de grandes industrias. Este proceso crea poblaciones biológicamente activas que son capaces de adsorber la materia orgánica de aguas residuales convertidas por un sistema de oxidación, por enzimas en productos finales simples como CO_2 , H_2O , NO_3 y SO_4 . Los lodos biológicos que se desarrollan naturalmente en las aguas residuales sometidos a aireación contienen una parte considerable de materia coloidal y en suspensión.





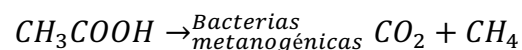
6.3.4.1.1.4 Tratamiento anaerobio

El reactor de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio concebido en inglés como UASB y en español como RAFA o PAMLA, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por grano biológico o partículas de microorganismos.

El tratamiento anaerobio se utiliza tanto para las aguas residuales como para la digestión de lodos, dando un producto final de gases, principalmente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H_2), [23]. El proceso comprende dos etapas: fermentación ácida y fermentación metánica.

En la etapa de fermentación ácida, los compuestos orgánicos complejos del agua residual (proteínas, grasas e hidratos de carbono) se hidrolizan para producir unidades moleculares menores, las cuales son sometidas a biooxidación, convirtiéndose en ácidos orgánicos de cadena corta, tales como acético (CH_3-COOH), propiónico (CH_3CH_2COOH) y butílico ($CH_3-CH_2-CH_2-COOH$), efecto producido gracias a una población heterogénea de bacterias facultativas y anaerobias. Además, no se produce una reducción importante de la DQO, ya que principalmente lo que ocurre es la conversión de las moléculas orgánicas complejas en ácidos orgánicos de cadena corta que ejercen también una demanda de oxígeno [23].

En la etapa de fermentación metánica, “microorganismos metagénicos” que son anaerobios, convierten los ácidos de cadenas más largas a metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas. Las moléculas ácidas se rompen repetidamente dando lugar al ácido acético que convierte en CO_2 y CH_4 .



El grupo de bacterias facultativas y anaerobias responsable de la etapa de fermentación ácida tiene una velocidad de crecimiento más elevada que las bacterias metanogénicas





responsables de la etapa de fermentación metánica. Como resultado, la etapa de fermentación ácida es relativamente rápida por lo que la etapa de fermentación metánica es la que controla la velocidad en los procesos anaerobios.

Ya que la fermentación metánica controla la velocidad del proceso, es importante mantener las condiciones de una fermentación metánica eficaz. El tiempo de residencia para los microorganismos metánicos debe ser el adecuado o si no son eliminados del sistema [23].

6.3.5 Tratamiento terciario o avanzado

Si el efluente obtenido hasta este punto no cumple con las normativas ambientales para descarga, debe aplicar tratamiento terciario, hasta lograr eliminar los compuestos orgánicos e inorgánicos que afectan la calidad del agua.

El tratamiento terciario o avanzado puede tener diversos fines depende el proceso que se requiera. Se puede perseguir los siguientes fines:

- Disminución de microorganismos fecales y gérmenes patógenos
- Disminución de la demanda de oxígeno, mediante el proceso de nitrificación se elimina la materia orgánica nitrogenada.
- Precipitación de fósforo mediante por insolubilización.
- Eliminación de materia orgánica refractaria aplicando proceso de adsorción con carbón activo (Tejero S. T., 1992)

6.3.5.1 Tratamientos terciarios que se pueden aplicar

6.3.5.1.1 Desinfección del efluente (generalmente con cloro)

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. Hay tres categorías de organismos entéricos de origen humano las bacterias, los virus y los quistes amebianos. El concepto de desinfección es diferente de esterilización, en él se eliminan todos los microorganismos, es decir, se busca una eliminación del 100% de los organismos.





Se pueden indicar tres tipos básicos de desinfección:

- Tratamiento físico
- Radiación
- Métodos químicos

Los métodos más utilizados son la cloración, la ozonización u la radiación UV.

6.3.5.1.2 Nitrificación y desnitrificación

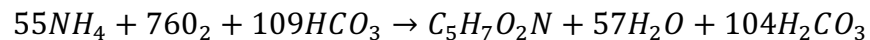
6.3.5.1.2.1 Nitrificación biológica

Proceso de nitrificación

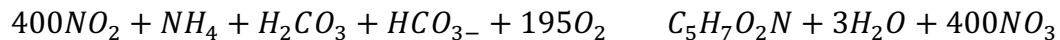
En el proceso de nitrificación intervienen dos tipos de bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter. Las Nitrosomonas oxidan el amónico, producto intermedio, mientras que la Nitrobacter transforman el nitrito en nitrato. Cuando se evidencia que no hay acumulación de nitrito a nitrato tiene lugar por medio de una serie de complejas reacciones que gobiernan el proceso de conversión global.

A continuación, las reacciones que tienen lugar de forma aproximada.

Reacción con las Nitrosomonas



Reacción con las Nitrosomonas



Estas ecuaciones permiten calcular las cantidades necesarias para los procesos de las diferentes especies químicas [35]. Las especies químicas principales que contienen nitrógeno y que se encuentran disueltas en las aguas se las divide en cuatro grupos:

- Sustancias orgánicas nitrogenadas procedentes de la descomposición de materia orgánica.





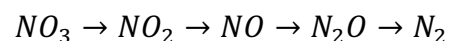
- NH_4^+ (amonio), que en ambientes alcalinos se encuentra como NH_3 (amoníaco).
- Nitratos (NO_3^-), por oxidación de los anteriores, procedentes de abonos. etc.
- Nitritos (NO_2^-), que suelen pasar a nitratos fácilmente.

6.3.5.1.2.2 Desnitrificación biológica

Es la segunda etapa desnitrificación de la eliminación de nitrógeno mediante el proceso nitrificación – desnitrificación

Proceso de desnitrificación

Metcat & Eddy, indican que en este proceso ocurre la eliminación del nitrógeno en forma de nitrato por conversión en nitrógeno gas, esto se puede conseguir biológicamente bajo condiciones anóxicas (sin oxígeno), el proceso se conoce con el nombre desnitrificación. Anteriormente se lo conocía como proceso de desnitrificación anaerobia. Se lleva a cabo bajo la acción de diversas bacterias, entre las que se destacan: *Acromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* y *Spirillum*. Estas bacterias son heterótrofas capaces de la reducción desimilatoria del nitrato, que es un proceso de dos etapas. El primero consiste en la conversión del nitrato en nitrito y a continuación se produce óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gas. Las reacciones de reducción del nitrógeno son las siguientes:



El contenido de nitrógeno en las aguas residuales urbanas suele ser de origen doméstico y está compuesto principalmente por nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal (NH_3 , NH_4^+) siendo poco abundantes el resto de especies químicas de nitrógeno. Se puede encontrar nitratos o compuestos nitrogenados de origen industrial cuando el agua residual recoge vertidos industriales, aguas pluviales de la ciudad, de escorrentía agrícolas, etc.

El vertido de nitrógeno a los cauces públicos en el agua residual es perjudicial por dos motivos:





- 1) En la fase de nitrificación se consume mucho oxígeno del que hay disuelto en el agua. Si se vierte mucho nitrógeno amoniacal a un medio acuático, puede ocurrir una nitrificación que agote el oxígeno del agua y cause la asfixia y muerte de los peces y seres vivos que necesitan oxígeno para vivir.
- 2) El nitrógeno como ión nitrato obtenido tras la nitrificación también puede ser un factor desencadenante de eutrofización.

6.3.5.1.3 Adsorción con carbón activado

La adsorción, fenómeno que ocurre cuando moléculas en solución golpean la superficie de un sólido adsorbente y son adheridas a su superficie, es el proceso por el cual moléculas de un fluido son concentradas sobre la superficie de otra fase mediante fuerzas químicas o físicas o por ambas. El material concentrado constituye el adsorbato y el material que adsorbe es el adsorbente. La adsorción supone la acumulación del adsorbato sobre una superficie o interfaz. El proceso puede ocurrir en la interfaz entre materiales de tipo líquido-líquido, gas-líquido, gas-sólido o líquido sólido. La adsorción de contaminantes, sobre carbón activado, se usa mucho en el tratamiento de aguas y en la purificación del aire.

En general, existen tres tipos de adsorción: física, química y de intercambio. La adsorción física no es específica y se debe a la acción de fuerzas débiles de atracción entre moléculas como las fuerzas de Van der Waals; en tal caso, la molécula adsorbida tiene movimiento libre sobre la superficie del sólido adsorbente y no está unida a un sitio específico; puede condensarse y formar varias capas superpuestas sobre la superficie del adsorbente; generalmente es reversible. La adsorción química se debe a fuerzas mucho más fuertes, como las que conducen a la formación de compuestos químicos; el compuesto adsorbido forma una capa monomolecular sobre la superficie del adsorbente y las moléculas no son libres de moverse de un sitio a otro; cuando la superficie está cubierta por el material adsorbido, la capacidad del adsorbente está prácticamente agotada. La adsorción química no es, generalmente reversible y para remover el material adsorbido se debe calentar el





adsorbente. La adsorción de intercambio se usa para describir la adsorción debida a la atracción eléctrica entre el adsorbato y la superficie del adsorbente, como ocurre en el intercambio iónico. Los iones de un contaminante se concentran sobre sitios de carga eléctrica opuesta sobre la superficie del adsorbente. A mayor carga eléctrica del ion, mayor atracción; así mismo, a menor tamaño el ion, mayor atracción [36].

6.3.5.1.4 Las membranas en el tratamiento de aguas residuales

El proceso por membrana es uno de los más avanzados que se tienen en la actualidad, una membrana conocida como membrana semipermeable es una lámina fina de material capaz de separar sustancias en función de sus propiedades físicas, químicas, esto sucede cuando se aplica una fuerza directora a través de la misma. Las membranas se las puede clasificar por el tipo de sustancias separadas y por las fuerzas directoras empleadas. Por ejemplo, microfiltración (MF) y osmosis inversa (OI), son dos procesos por membrana que utilizan la presión para transportar agua a través de la membrana. Las membranas MF son capaces de separar solo partículas mientras que la OI retiene muchos solutos a medida que el agua pasa a través de ellas. La electrodiálisis (ED) también es capaz de separar solutos iónicos del agua pero en este caso los iones son transportados a través de la membrana y la fuerza impulsora es un potencial eléctricos [37].

6.3.5.1.4.1 Osmosis inversa

Denominada hiper filtración, es el proceso mediante el cual se separan las sales disueltas en disolución del agua a través de una membrana semipermeable lo cual se efectúa a una presión superior a la presión osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual. Las presiones varían desde presión atmosférica a 6900 kN/m^2 . La osmosis inversa presenta la ventaja de eliminar materia orgánica disuelta susceptible que no es separada por otras técnicas de desmineralización. El costo muy elevado de la osmosis inversa es una desventaja para su utilización.





6.3.5.1.5 Tratamiento con tecnología electroquímica

Desde hace décadas se investiga la aplicación de técnicas electroquímicas a la descontaminación de efluentes industriales acuosos, y en la actualidad existen técnicas electroquímicas que pueden competir con las técnicas convencionales de tratamiento en la descomposición de determinados tipos de efluentes industriales [38].

6.3.5.1.5.1 Electrocoagulación

La electrocoagulación presenta una larga historia en la tecnología de tratamiento de aguas, en 1909 fue patentada en el Reino Unido. Barrera, 2014. La define como un proceso eficiente para desestabilizar finalmente las partículas en agua natural o en la residual, usualmente se utiliza electrodos de aluminio o de hierro, y al aplicar la corriente eléctrica los ánodos producen iones de aluminio Al^{3+} o de hierro Fe^{2+} estos iones son muy buenos coagulantes y pueden hidrolizarse cerca del ánodo para producir una serie de intermediarios activados que son capaces de desestabilizar las partículas dispersas que se hayan presentes en el agua, luego de la desestabilización se produce una aglomeración de partículas formando flóculos. En cambio en el cátodo se generan pequeñas burbujas de hidrogeno lo que permite que floculo flote facilitando la separación de las partículas del agua residual según lo mencionan [38].

La coagulación asistida electroquímicamente, o electrocoagulación (EC), es un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual, lo que posibilita su conversión en sólidos suspendidos y su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido/líquido, tales como la decantación, la flotación y la filtración. Como consecuencia de su disolución, los ánodos van desapareciendo a medida que transcurre el tratamiento, llegando un momento en el que es necesaria su reposición (ánodos de sacrificio) [38].

Además, algunos ejemplos de aplicación de esta tecnología a casos reales incluye [38]:





- Agua de abastecimiento, centrados en la eliminación de materia coloidal, de flúor, o bien en la de nitratos.
- Aguas residuales urbanas.
- Aguas residuales procedentes de la industria textil, con un elevado contenido de tintes, colorantes y sólidos en suspensión.
- Aguas residuales agroindustriales.
- Aguas procedentes de la fabricación de puertas, con alto contenido de materia coloidal y orgánica.
- Aguas residuales procedentes de un sector industrial que engloba distintos tipos de actividades, para la eliminación de DQO, color y coliformes, entre otros parámetros.
- Aguas procedentes de una industria de fabricación de papel, para la eliminación de fenol y lignina.
- Aguas residuales procedentes de procesos de galvanoplastia, para la eliminación de metales y materia orgánica.
- Emulsiones de aceite en agua procedentes de restaurantes, de la industria de mecanizado de metales, y procedentes del pulido en la fabricación de piezas de metales semiconductores empleados en la integración de circuitos.

6.4 Operaciones y procesos del tratamiento aguas residuales método enzimático

El método enzimático correspondiente a uno de los tratamientos biológicos, se usa para mejorar el efluente (descarga/ vertido de agua) por suministro de enzimas ya sea por uso directo (donde se vierte una fuente biológica ya sea célula o tejido las cuales producen alguna encima), uso de células microbianas (para metabolización enzimática que degrada contaminantes, esta se limita ya que tarda mucho tiempo en comparación de otras), uso de plantas enteras/ tejidos (donde enzimas de raíces degradan colorantes además tiene





ventajas económicas y desventajas al aumentar la demanda química y biológica de oxígeno) [39].

6.4.1 Diversidad de las aguas residuales

A la hora de catalogar las aguas residuales también vamos a poder encontrar diferentes tipos de clasificación. Sin embargo, la más común de todas, es la que divide 4 tipos de aguas residuales (aunque estos luego puedan presentar sus propias categorías internas) [40].

6.4.2 Aguas residuales domésticas o urbanas

Este tipo de agua residual es la que nos viene primero a la cabeza cuando pensamos en ella, ya que se trata de un tipo de agua residual con el que estamos en contacto todos los días. Este tipo de agua residual es el resultado del uso del agua en las viviendas y núcleos urbanos, donde también se concentran gran cantidad de comercios o lugares de trabajo. Se trata de un agua residual que es especialmente alta en contaminantes orgánicos y sólidos sedimentables, así como en bacterias. Se trata del agua que desechamos cuando tiramos de la cadena del inodoro, cuando nos duchamos, cuando usamos el fregadero de la cocina o, incluso, del agua de las piscinas [40].

6.4.3 Aguas residuales industriales

Este tipo de agua residual es el que resulta de los procesos que se llevan a cabo en el sector secundario de la economía, es decir, el referido a las actividades industriales. Aquí se incluye el agua que se desecha desde las fábricas, a las plantas de producción energética o cualquier otra actividad que esté destinada a la fabricación de productos consumibles o productos manufactureros. Este tipo de agua residual se caracteriza por contener un elevado nivel de componentes contaminantes del tipo de metales pesados, entre los que se encontrarían el plomo, el níquel, el cobre, el mercurio, o el cadmio entre muchos otros. Así mismo, también se trata de aguas residuales que contienen cantidades ingentes de elementos químicos artificiales de una variedad amplísima [40].





6.4.4 Aguas residuales de la agricultura y ganadería

Este tipo de aguas residuales son menos frecuentes en la agricultura, ya que la mayor parte de ella se utiliza para el regadío, aunque sí que es cierto que, algunos cultivos, así como actividades destinadas al tratamiento de ciertos productos agrícolas, hacen uso de abundante agua y producen aguas residuales.

Sin embargo, la inmensa mayoría de las aguas residuales del sector primario proviene de la ganadería, especialmente de la ganadería intensiva. Estas aguas contienen elevados niveles de contaminantes derivados tanto de ciertos productos químicos que se usan para criar al ganado como, especialmente, los que se derivan de los purines de los animales, es decir los desechos fecales y los orines de los animales que permanecen en estabulación. Estos contaminantes son muy peligrosos, ya que pueden afectar a la fertilidad de los suelos, llegando a poder convertir un suelo fértil, en un completo páramo debido a la toxicidad y la saturación de las partículas fecales que contienen [40].

6.4.5 Aguas residuales derivadas de la lluvia ácida

La lluvia ácida es un tipo de agua residual suele pasar inadvertida para la mayoría de las personas. A pesar de ello, constituye un verdadero ejemplo de agua residual generada por la acción que el ser humano tiene en la atmósfera. Este tipo de agua residual se produce por efecto de la lluvia al arrastrar los contaminantes presentes en la atmósfera, especialmente en los núcleos urbanos, que llegan al suelo y lo contaminan. La mayor parte de esta agua, al tener lugar en las ciudades, terminan en el alcantarillado público, donde se unen con las aguas residuales domésticas o urbanas [40].

6.5 Tipos de contaminantes

Según el tipo de sustancia presente, los tipos de contaminación del agua pueden agrupar en los siguientes 8 grupos [41]:

6.5.1 Microorganismos patógenos

Este tipo de contaminación se produce por microorganismos, como bacterias, virus, protozoos que causan enfermedades graves como el cólera, tifus, hepatitis, etc.





6.5.2 Desechos orgánicos

Su origen son los residuos producidos por las actividades del ser humano, como el ganado. La existencia en agua de materia biodegradable o materia de fácil descomposición fomenta el crecimiento de bacterias aeróbicas que consumen el oxígeno existente. La falta de oxígeno dificulta la vida de los organismos aerobios, y los anaerobios liberan sustancias tóxicas tales como amoníaco o sulfuros.

6.5.3 Sustancias químicas inorgánicas

Como son los ácidos, sales y metales tóxicos. En concentraciones elevadas pueden causar graves daños en los seres vivos, bajo rendimiento de las producciones agrícolas y corrosión en los equipos de trabajo.

6.5.4 Nutrientes vegetales inorgánicos

Como son los nitratos y fosfatos. Son sustancias solubles que las plantas necesitan para su desarrollo y que estimulan el crecimiento de algas y otros organismos. Este tipo de contaminación induce a la eutrofización de las aguas, lo que conlleva el uso de todo el oxígeno presente. Ello dificulta la actividad de otros organismos, disminuyendo la biodiversidad en el agua.

6.5.5 Compuestos orgánicos

Como el petróleo, la gasolina, los plásticos, los plaguicidas, etc. Son sustancias que pueden permanecer largos periodos de tiempo en el agua, al ser difíciles de degradar por los microorganismos.

6.5.6 Sedimentos y materiales suspendidos

Son partículas que no se disuelven fácilmente en el agua. Estas partículas generan turbidez, que dificulta la vida de los organismos bajo el agua. Los sedimentos asentados pueden dañar a los organismos acuáticos en la ocupación de áreas de alimentación, desove de peces u obstruyendo cursos de agua.





6.5.7 Sustancias radiactivas

Como son los isótopos radiactivos solubles. Cuando están presentes en el agua, pueden acumularse en las cadenas tróficas durante largos periodos de tiempo, y acumularse en los tejidos de los organismos vivos.

6.5.8 Contaminación térmica

Es provocada por las centrales de energía u otras industrias que liberan agua a altas temperaturas, pudiendo disminuir la capacidad de mantener oxígeno afectando gravemente a los organismos acuáticos.

6.6 Tratamiento y disposición de lodo

La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante que debe ser considerado para una buena elección del proceso de tratamiento. Como se ha mencionado, la ley de la conservación de la materia conduce al hecho que la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma. En el caso de las plantas de tratamiento, los contaminantes se transforman, en parte, en lodo. Algunos procesos para el tratamiento del lodo son la digestión anaerobia, la digestión aerobia, el composteo mezclado con residuos celulósicos, la estabilización con cal, la incineración y la pasteurización. Como destino final podrán ser desechados en lugares especialmente acondicionados para ello (mono-relleno sanitario) o si la legislación ambiental lo permite, en rellenos sanitarios municipales. Una opción atractiva para la disposición final es el aprovecharlos como mejoradores de suelos o fertilizantes agrícolas, siempre y cuando cumplan con la normatividad asociada a la producción de biosólidos, nombre como se les conoce a los lodos tratados y acondicionados para su aprovechamiento en tierras.

6.6.1 Sistema de control de olores

El impacto de los malos olores provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales ha acompañado siempre a estos sistemas. En este sentido, los malos olores son la principal preocupación de la población cuando se habla de la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales cercano a sus domicilios. En los últimos años, la preocupación por los derechos de la población a un ambiente saludable, asociada a la





implementación de mejoras en la legislación ambiental se ha incrementado, lo que ha conducido hacia la importancia de minimizar las emisiones de olores en el tratamiento de aguas residuales, especialmente las domésticas o municipales. Este aspecto se ha convertido en un reto significativo en el ámbito del manejo de las aguas residuales. En un tren de tratamiento completo, las unidades que mayormente se identifican como fuentes potenciales de malos olores son el tratamiento preliminar y el tratamiento de lodos. En un buen número de ocasiones, el problema de olores se da desde la red de drenaje, causando impactos en al cantarillas y cárcamos de bombeo y, obviamente, en la obra de entrada a la planta de tratamiento, lo cual implica que la generación de olores no necesariamente se debe a la planta de tratamiento en sí [42].

6.7 Consideraciones para la selección de tecnologías de aguas residuales

Algo vital es considerar con que proceso se va a solucionar de la mejor manera, para lo cual se plantean las siguientes preguntas:

6.7.1 Tipo ambiental

¿Puede operar la planta dentro de las fluctuaciones de temperatura del medio ambiente presentes en la región?

– ¿La dirección del viento dominante es favorable para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en cuanto al transporte de aerosoles o posibles malos olores?

– ¿Se tiene una estimación de la generación de gases de efecto invernadero por parte del proceso de tratamiento (agua y lodos)?

– ¿Se cuenta con un estudio de impacto ambiental, incluso preliminar, que valore los impactos de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales?

6.7.2 Tipo técnico

¿Se ha identificado, dentro de lo posible, alguna tecnología aplicable al caso y que haya sido desarrollada o adaptada en la región o en el país?





¿Se puede considerar que el agua residual a tratar es del tipo netamente municipal (DBO_5 total por debajo de los 350 mg/l)?

¿Se está seguro de que no hay descargas industriales de relevancia, o de cualquier otro tipo, que alteren el carácter municipal del agua residual?

¿En la tecnología propuesta se favorece el tratamiento biológico sobre los tratamientos fisicoquímicos?

¿Se ha considerado dentro del tren de tratamiento del agua, al menos para efectos de comparación y evaluación, un sistema anaerobio?

¿No hay dependencia de productos (enzimas, bacterias o microorganismos de cualquier tipo) que deban agregarse a la planta frecuentemente y generen dependencia económica?

¿Se reconoce que la planta de tratamiento genera lodos y su cantidad y calidad están determinadas y se ha considerado su manejo?

¿La planta de tratamiento, preferentemente, integra o contempla el tratamiento de lodos por vía biológica?

¿En plantas pequeñas, se ha considerado dentro del tren de manejo de lodos, al menos para efectos de comparación y evaluación, los lechos de secado?

¿Se tiene contemplado cómo disponer adecuadamente los lodos generados? – ¿La planta de tratamiento genera lodos susceptibles a ser usados como mejoradores de suelo o en la agricultura?

¿La planta de tratamiento integra o contempla el control de olores?

¿El control de olores hace uso de biotecnología o sistemas biológicos como biofiltros de composta?

¿La planta de tratamiento integra o contempla la mitigación de ruido?





¿Se tiene contemplado que hacer con el agua residual o agua parcialmente tratada durante el arranque de la planta o falla de la misma sin que afecte ostensiblemente al medio ambiente?

¿La planta de tratamiento usa equipamiento de fácil compostura y reposición?

¿Se considera que la tecnología usada en la planta de tratamiento favorece una fácil operación y mantenimiento de la misma?

Se considera que la planta no requiere personal altamente capacitado; es decir, ¿puede ser operada por un profesional de nivel técnico medio con la capacitación necesaria?

¿El consultor que propone la tecnología puede demostrar experiencia en su diseño y operación?

6.7.3 Tipo económico

¿La tecnología utilizada en la planta de tratamiento puede contribuir de alguna forma con las actividades económicas de la región?

¿En cuanto a la reparación y/o mantenimiento de los equipos de la planta es posible apoyarse con prestadores de servicios de la región?

¿Se desglosa a detalle el costo de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento?

¿El costo de operación y mantenimiento de la planta es sostenible considerando las finanzas del municipio o del organismo responsable de su operación?

6.7.4 Tipo social

Las preguntas siguientes pueden formularse en tiempo futuro [42]:

¿Ha sido consultada la población directamente relacionada o posiblemente afectada sobre la construcción de la planta de tratamiento?

¿Se ha hecho consciencia en la población sobre la necesidad y ventajas de contar con una planta de tratamiento de aguas residuales?





¿Se ha definido el esquema de participación ciudadana durante el proceso de toma de decisiones, así como para la adjudicación, construcción y operación?

¿Se considera contratar personal de la comunidad?

¿Se cuenta con un plan de apoyo para la educación de la comunidad (visitas guiadas, museo, servicio social, entre otras acciones)?

¿Se cuenta con un plan de capacitación para los empleados?

¿Se cuenta con un plan de respuesta a emergencias y brigadas de protección civil dentro de la planta?

6.8 Calidad y Normativa

Normas de calidad del agua que tienen que ver con la investigación son las siguientes, la base principal será la NOM 001 la cual se muestra a detalle en los límites permisibles

1 NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales

2 NOM-002-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

3 NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

4 NOM-004-SEMARNAT-2002. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final

5 NOM-014-CONAGUA-2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada

6 NOM-015-CONAGUA-2007. Características y especificaciones de las obras y del agua para infiltración artificial a acuíferos [4,15].





En la tabla 2, se muestran los valores permisibles para descarga de aguas tratadas en bienes nacionales [4], y que para el caso de la presente investigación se considerará una descarga cuidando la vida acuática.

Tabla 2. Valores máximos permisibles para descarga en bienes nacionales NOM SEMARNAT 001.

Parámetros	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras						Suelo		Humedales Naturales		
	Uso en riego agrícola ^(A)		Uso público urbano ^(B)		Protección de vida acuática ^(C)		Uso en riego agrícola ^(B)		Uso público urbano ^(C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos ^(A)		Recreación ^(B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		(B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura, °C ⁽¹⁾	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Grasas y Aceites ⁽²⁾	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante ⁽³⁾	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

P.M. - Promedio Mensual; P.D. - Promedio Diario; N.A. - No es aplicable; aus. - ausente.
 (A), (B), (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.
 (1) Instantáneo; (2) Muestra Simple Promedio Ponderado; (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

7 METODOLOGÍA

Como parte de los trabajos iniciales para el desarrollo de esta investigación se hizo el levantamiento topográfico de la estructura de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales CIAC UMSNH, ya que se buscó información, pero desafortunadamente no se cuenta con nada, solo con planos del CIAC. Para conocer la configuración de las pilas y sus desniveles, así como reconocer la maquinaria existente y las condiciones de la construcción, una vez superada esta etapa se realizó limpieza del lugar, así como acondicionamiento para la puesta en marcha para la experimentación y datos técnicos.

7.1 Determinación del Q (gasto de diseño)

Considerando la población máxima en las instalaciones del edificio:





Tabla 3. Obtención del gasto de diseño de la PTAR

Area	Capacidad de personas	Dosis por hab/día (lts)	Dosis por día (l/día)	Dosis (l/s)	Q _{Diseño} l/s
AUDITORIO PRINCIPAL	390	10	7460	0.1	0.1
SALA DE EXÁMENES RECEPCIONALES	77				
SALA DE EXPOSICIONES TEMPORALES	120				
CAFETERIA	60				
SALAS DE PONENCIA	99				
TOTAL	746				

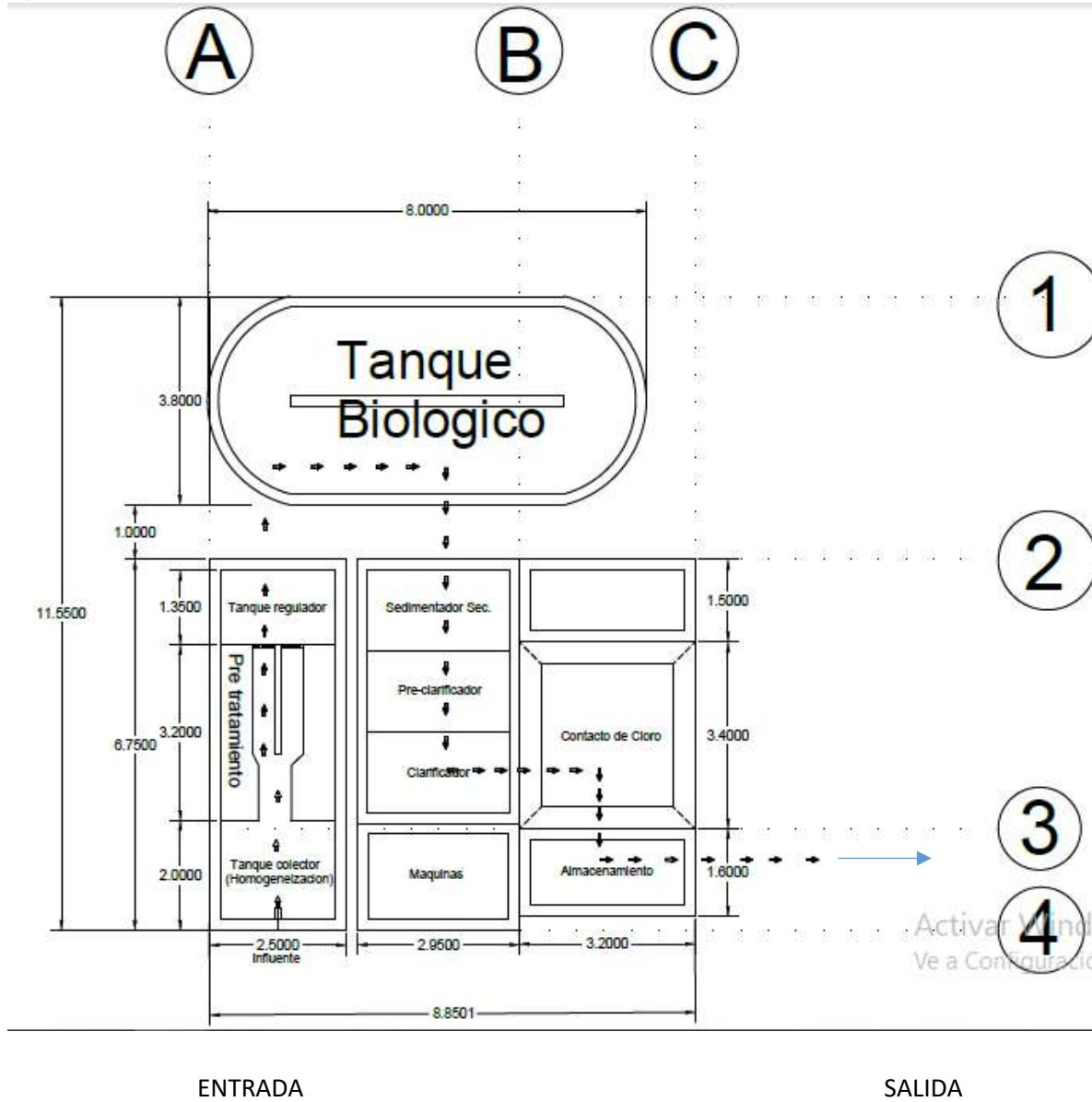
La dosificación se tomó de acuerdo al manual técnico de dotaciones de agua [43], donde propone para eventos culturales una dotación de 10 l/asistente/d. Tomando los parámetros obtenidos se llega al gasto de diseño $Q = 0.1$ l/s.

En el caso de la elaboración de los planos, se tomó en cuenta la configuración actual de la planta de tratamiento figura 4, se solicitó el acceso a las instalaciones, se tomaron las medidas de la estructura y se elaboraron los planos correspondientes, figura 5. La PTAR se encuentra ubicada al lado sur del CIAC y a un costado del auditorio de usos múltiples de la UMSNH, desde su construcción no se puso en marcha debido a que tenía faltantes en su infraestructura. La propuesta es la siguiente:



Figura 4. Ubicación de la PTAR del CIAC de la UMSNH.





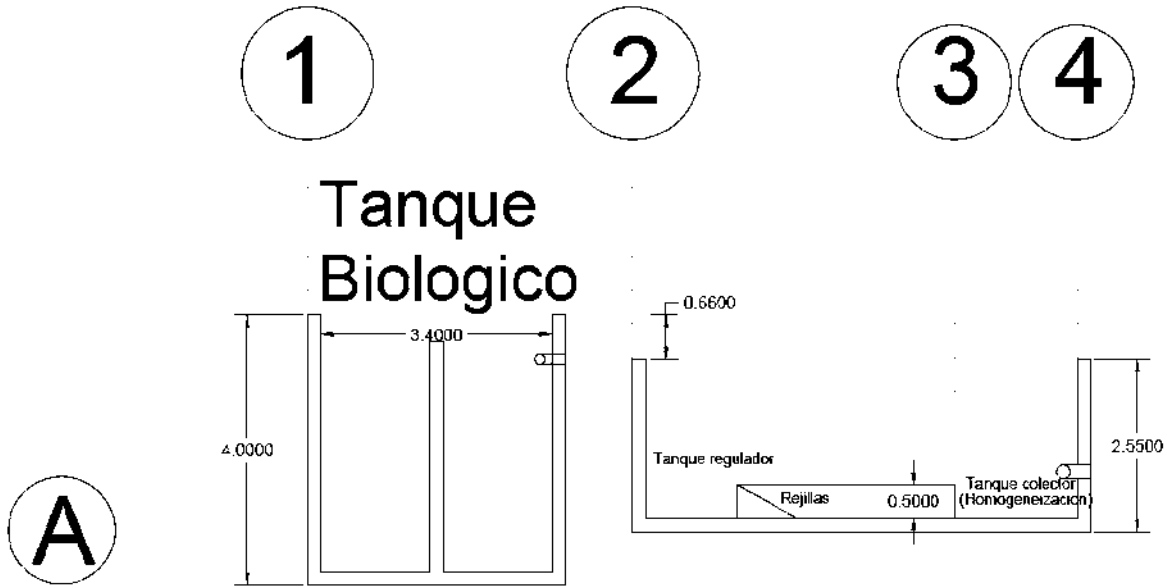


Figura 5. Planos arquitectónicos de la PTAR del CIAC de la UMSNH

7.2 Diseño propuesto de la Planta Tratadora de Aguas Residuales por el método enzimático



Figura 6. Proceso propuesto con enzimas

El diseño propuesto considera todo el proceso hasta el verter el agua tratada considerándola para riego o drenaje figura 6. También se está considerando el vertido en





un espacio al costado de la PTAR para generar un pequeño cuerpo de agua artificial, como el que se encuentra actualmente. Sin embargo, en la parte experimental de la investigación se propuso hasta el tratamiento biológico de enzimas, pudiéndose completar con lo posterior al tanque biológico.

En el Influyente se recibe el flujo de agua que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales proveniente del emisor, es decir, del CIAC de la UMSNH. Seguido de esto se tiene el tanque colector (homogenización), este es el tanque receptor de tratamiento primario donde se busca estabilizar las condiciones del agua residual cruda antes de su ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales, es agua pasa por las rejillas que es una estructura de tratamiento primario que permite la remisión de sólidos mayores tales como basuras, ramas o cualquier otro sólido que pueda interrumpir algún proceso dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales. Es seguida se tiene un tanque regulador, y se trata de una estructura que se diseña para almacenar el agua que se acumula durante los intervalos de gasto y mantener además un volumen de reserva destinado a satisfacer los requerimientos cuando el gasto de salida es mayor que el de ingreso, es decir, en las horas de mayor demanda.

La siguiente estructura es el tanque biológico, que es el tanque donde se lleva a cabo el proceso biológico para la degradación de componentes orgánicos, en nuestro caso sería el lugar donde estarían trabajando las enzimas, degradando la materia orgánica.

Las siguientes estructuras no son del alcance de la presente investigación, sin embargo, se propone aprovechar la infraestructura existente y acondicionarla para realizar el proceso propuesto, en los planos presentados, figura 5, se indican las estructuras existentes, pero ya con los cambios y acondicionamientos propuestos. Se tienen biodiscos en tanques existentes y será necesario removerlos para terminar el proceso, a continuación, se describen las funciones de las estructuras por acondicionar:





Sedimentador: estructura propuesta para facilitar la sedimentación al reducir la turbulencia y la velocidad de la corriente del agua residual. Cumple la misma función que un desarenador, pero está diseñado para remover partículas más pequeñas

Pre clarificador: en él se retiran los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad.

Clarificador: son tanques de sedimentación que se construyen con medios mecánicos para la eliminación continua de sólidos que se depositan por sedimentación.

Contacto de cloro: este proceso se da en otro tanque, consiste en aplicar cloro en el agua para eliminar microorganismos que pueden resultar nocivos a la salud. El cloro tiene poder germicida, es decir, mata a cualquier microorganismo que se encuentre en el agua y que puede ser de riesgo para nuestra salud.

Riego o drenaje: Disposición final del agua que sale del proceso de tratamiento, pudiéndose utilizar para riego de áreas verdes o bien verterla al drenaje cumpliendo con la normativa correspondiente.

7.3 Puesta en marcha

7.3.1 Trabajos iniciales



Figura 7. Tanque de tratamiento biológico



Los trabajos iniciales consistieron en remover basura y vegetación dentro de los tanques de la planta, como se muestra en la figura 7, para lo cual se llenó con agua bombeada del tanque regulador y se removieron todos los residuos de mayor tamaño hasta dejar la pila de tratamiento biológico libre de basura.

Después de quitar todos los residuos y basura se procedió a vaciar el tanque bombeando de regreso al tanque regulador, en la figura 8 se aprecia libre de basura el tanque de tratamiento biológico, y en la figura 9 se aprecia una vez que se ha vaciado.



Figura 8. Tanque de tratamiento sin limpiar



Figura 9. Tanque de tratamiento después de bombear el agua



Posteriormente se realizó limpieza del tanque de tratamiento biológico y el tanque regulador. En la figura 10, se observa el bombeo del agua del tanque biológico hacia el tanque regulador.



Figura 10. Vaciado del tanque biológico al regulador

El agua del tanque biológico se vació hacia el tanque regulador, una vez vació el biológico, se vació el tanque regulador, para lo cual se improvisó un pequeño canal de desagüe y se vertió al cuerpo de agua afuera de la Planta como se observa en las imágenes 8, 9, 10 y 11.



Figura 11. Canal para desagüe del tanque regulador

En la figura 12, se observa la limpieza del tanque regulador y las rejillas del mismo.



Figura 12. Limpieza del tanque regulador

Una vez limpio el tanque regulador se dio tiempo para su llenado con aguas residuales de la CIAC. Posteriormente, se procedió a llenar nuevamente el tanque de tratamiento biológico con agua del tanque regulador para realizar la experimentación con las enzimas, figura 13.



Figura 13. Llenado del tanque biológico

7.3.2 Muestra 1 (Agua de entrada)

Se tomó la primera muestra (agua de entrada) con el objetivo de conocer los parámetros de contaminantes para la aplicación de las enzimas. Llenando 3 botes de 1 L, figura 14, provenientes del pozo ubicado en la entrada a la planta, figura 15, utilizando una botella enjuagada con la misma agua antes de llenar los recipientes, figura 16.



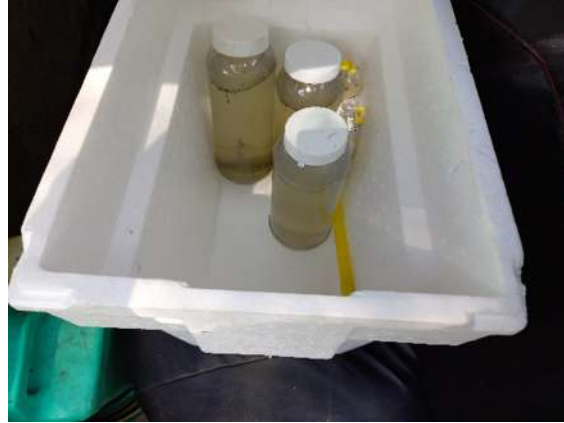


Figura 14. Muestra de entrada de agua residual



Figura 15. pozo de visita común en la entrada a la planta



Figura 16. Extracción de la muestra





Para esta muestra se tienen los siguientes datos generales:

Sitio de muestreo: **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales CIAC, Ciudad Universitaria (U.M.S.N.H.), Morelia, Michoacán, México.**

Origen: **agua residual típica/red de alcantarillado sanitario**

Tipo de agua: **Residual típica cruda.**

Número de muestra: **1/1**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **02 de marzo de 2022.**

Hora de muestreo: **10:30 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **02 de marzo de 2022.**

Hora de recepción: **12:15 horas**

Periodo de análisis: **02-11 de marzo de 2022.**

7.3.3 Cascada de oxigenación

Como propuesta de mejora al tratamiento, se instaló una cascada para oxigenar el agua de la pila del tratamiento biológico y así favorecer la producción de bacteria degradante, se utilizó una tubería de PCV de dos pulgadas y se perforó por la parte de arriba, figura 17 y 18, para lograr así un efecto de cascada y oxigenar el agua, figura 19, y ayuda a eliminar olores. Con la bomba sumergible que ya estaba en la planta se hizo la instalación al centro de la pila, quedando como se aprecia a continuación.



Figura 17. Perforación de la tubería de la cascada



Figura 18. Tubería de la cascada colocada



Figura 19. Cascada formada con la tubería de PVC

7.3.4 Preparación de las enzimas

Las enzimas se obtuvieron con el resultado de la muestra de diagnóstico, se empleó el producto “Froggy”.

Froggy RXMX

Dirección: Calle Vidrio 2380a, Arcos, 44130 Guadalajara, Jal.

FROGGY RX MX es una mezcla de bacterias, enzimas y componentes nutritivos, formulados para la biodegradación de compuestos orgánicos





HOJA TECNICA DE SEGURIDAD

Producto: SWEPER Rx

Fabricado por:

Environmental Associates of Louisiana

215 Guidry Read

Lafayette, L, A 70503

(337) 981-1860

WWW.sludgesolutionsintl.com

SECCIÓN I – INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Común: Sewper Rx	NFAP Sistema de identificación de peligro	índice de peligrosidad
Familia química: Enzima en polvo/cultivo de bacterias	Salud: 0	4 - Extremo
Formula: Mezcla en polvo	Infamabilidad: 0	3 - Alto
	Reactiveness: 0	2 - Moderado
		1 - leve
		0 - Insignificante

SECCIÓN II – INGREDIENTES PELIGROSOS

Ingredientes peligrosos: No son constituyentes peligrosos de acuerdo a la definición 29 CFR 191,1200

Otros ingredientes: Mezclas patentadas de nutrientes, cepas de bacterias no patógenas, levaduras y almidón.
Todos los ingredientes de este producto están en la lista TSCA

SECCIÓN III – DATOS FÍSICOS

Punto de ebullición (F): N/A	Gravedad Especifica: N/A	Presión de vapor (mm Hg) : ND
% Volátil (% volumen): 0	Densidad de vapor (aire=1): N/D	Tasa de evaporación (Éter) : N/A





Solubilidad en agua: Soluble pH: N/A (solución de 10%)

Aspecto y Olor: Bien, de flujo libre, polvo de varios colores, fragancia de harina de maíz

SECCIÓN IV – DATOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Punto de inflamabilidad (F) : N/A **Limites de inflamabilidad en el aire (% en volumen) :** N/A Superior : N/A Inferior : N/A

Medios de Extinción: Agua, espuma, dióxido de carbono, productos químico seco.

Procedimientos especiales contra incendios: Los bomberos deben de estar equipados con equipo de protección completo, incluyendo equipo de respiración autónoma

Incendio y explosión inusual: Ninguna.

SECCIÓN V – DATOS DE REACTIVIDAD

Estabilidad. Estable **Condiciones para evitar:** Ninguna **Incompatibilidad:** Ácidos

Productos de descomposición peligrosos: N/A

Polimerización Peligroso: No ocurrirá. **Condiciones para evitar:** Ninguna

Primera propuesta de dosificación para tratamiento, se añadieron 1 onza de enzima y 1 onza de azúcar en 5 l de agua a temperatura ambiente figura 20. Se dejó reposar 3 horas y se añadieron a la pila de tratamiento biológico, figura 21.



Figura 20. Preparación de las enzimas



Figura 21. Aplicación de las enzimas al tanque biológico

7.3.5 Primer Muestra de entrada y salida

Con las mismas condiciones de la primera muestra, se sacaron las dos muestras de entrada y salida, figura 22.28). Con un tiempo propuesto de 48 hrs posteriores a adición de las enzimas (imagen 27). El agua de entrada fue tomada del tanque regulador.



Figura 22. Muestras de salida 48 hrs





Figura 23. Muestra de agua con enzimas a las 48 hrs

Datos generales de la muestra:

Sitio de muestreo: ENTRADA - Planta de Tratamiento de Aguas Residuales CIAC, Ciudad Universitaria (U.M.S.N.H.), Morelia, Michoacán, México.

Origen: agua residual típica/red de alcantarillado sanitario

Tipo de agua: Residual típica cruda.

Número de muestra: 1/2

Tipo de muestreo: simple

Fecha de muestreo: 27 de abril de 2022.

Hora de muestreo: 12:30 horas

Fecha de recepción en laboratorio: 27 de abril de 2022.

Hora de recepción: 13:45 horas Periodo de análisis: 27 de abril - 11 de mayo de 2022

Sitio de muestreo: SALIDA - Planta de Tratamiento de Aguas Residuales CIAC, Ciudad Universitaria (U.M.S.N.H.), Morelia, Michoacán, México.

Origen: agua residual tratada/humedal.





Tipo de agua: **Residual tratada.**

Número de muestra: **2/2**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **27 de abril de 2022.**

Hora de muestreo: **12:50 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **27 de abril de 2022.**

Hora de recepción: **13:45 horas**

Periodo de análisis: **27 de abril - 11 de mayo de 2022.**

7.3.6 Toma de segunda muestra de agua de entrada y salida

La segunda muestra es extraída a los 5 días de aplicadas las enzimas y con las mismas condiciones de las dos muestras anteriores, figura 24. muestras. De igual manera el agua de entrada fue tomada del pretratamiento (tanque regulador, figura 24).

Se propusieron cinco diferentes dosificaciones para así obtener una comparativa de la muestra ideal 1x1 una onza de bacteria por una onza de azúcar. Se prepararon las siguientes dosificaciones: 1/4 x 1/4, 1/2 x 1/2, 1.5 x 1.5, 2 x 2 onza de bacteria x onza de azúcar respectivamente.



Figura 24. Muestra de salida a los 5 días y tanque regulador de donde se tomó la muestra de entrada.



Para la preparación de la dosis se tomó agua de la pila del tratamiento biológico en 5 diferentes recipientes y se agregaron las dosis propuestas de bacteria (Froggy) por cuarto de azúcar. Estas muestras fueron simuladas y proporcionadas en botes de 3 litros, ya que por especificación del vendedor del producto (Froggy) trabajan también en condiciones anaerobias.

Tabla 4. Dosificaciones propuestas para obtener una óptima

Origen	Dosificaciones	Contenido
Recomendada FROGGY	1x1	onza Froggy/onza Azúcar
Propuesta	1/2x1/2	onza Froggy/onza Azúcar
Propuesta	1.5x1.5	onza Froggy/onza Azúcar
Propuesta	2x2	onza Froggy/onza Azúcar

Una vez obtenidas todas las muestras se enviaron al laboratorio para su análisis. De igual manera se tomó una muestra de agua de entrada para comparar.

ENTRADA - Planta de Tratamiento de Aguas Residuales CIAC, Ciudad Universitaria, U.M.S.N.H; Morelia, Michoacán, México. ("Entrada", según etiqueta)

Origen: **agua residual típica/red de alcantarillado sanitario**

Tipo de agua: **Residual típica cruda.**

Número de muestra: **1/6**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **27 de abril de 2022.**

Hora de muestreo: **12:30 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **27 de abril de 2022.**

Hora de recepción: **13:45 horas**

Periodo de análisis: **27 de abril - 11 de mayo de 2022.**

Dosificación: 1x1 5L





Origen: **agua residual tratada**

Tipo de agua: **Residual tratada.**

Número de muestra: **2/6**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **27 de abril de 2022.**

Hora de muestreo: **12:50 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **27 de abril de 2022.**

Hora de recepción: **13:45 horas**

Periodo de análisis: **27 de abril - 11 de mayo de 2022.**

Origen: **agua residual típica/red de alcantarillado sanitario**

Tipo de agua: **Residual típica cruda**

Número de muestra: **3/6**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **22 de junio de 2022.**

Hora de muestreo: **12:00 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **22 de junio de 2022**

Hora de recepción: **13:15 horas**

Periodo de análisis: **22 de junio - 05 de agosto de 2022**

Temperatura de muestreo: **26°C**

Dosificación: 1/2x1/2 3L

Origen: **agua residual en proceso de tratamiento**

Tipo de agua: **Residual típica en tratamiento**

Número de muestra: **4/6**

Tipo de muestreo: **simple**





Fecha de muestreo: **22 de junio de 2022**

Hora de muestreo: **12:30 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **22 de junio de 2022**

Hora de recepción: **13:15 horas**

Periodo de análisis: **22 de junio - 05 de agosto de 2022**

Temperatura de muestreo: **26°C**

Dosificación: 1.5x1.5 3L

Origen: **agua residual en proceso de tratamiento**

Tipo de agua: **Residual típica en tratamiento**

Número de muestra: **5/6**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **22 de junio de 2022**

Hora de muestreo: **12:50 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **22 de junio de 2022**

Hora de recepción: **13:15 horas**

Periodo de análisis: **22 de junio - 05 de agosto de 2022**

Temperatura de muestreo: **26.5°C**

Dosificación: 2x2 3L

Origen: **agua residual en proceso de tratamiento**

Tipo de agua: **Residual típica en tratamiento**

Número de muestra: **6/6**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **22 de junio de 2022**

Hora de muestreo: **13:00 horas**

Fecha de recepción en laboratorio: **22 de junio de 2022**





Hora de recepción: **13:15 horas**

Periodo de análisis: **22 de junio - 05 de agosto de 2022**

Temperatura de muestreo: **27.0°C**

8 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En seguida se muestran gráficamente los resultados obtenidos del agua tratada de la planta del CIAC para las diferentes dosificaciones trabajadas, es importante señalar que se está tomando como parámetro de referencia la NOM001 para protección de vida acuática, las condiciones del vertido del agua tratada en la planta son las comparables con ese apartado de la norma señalada.

En las siguientes figuras se resumen los resultados obtenidos para la dosificación de 1x1 empleada en el tratamiento de aguas residuales de la planta del CIAC.

En la figura 25, se observan las remociones obtenidas con la dosificación 1x1, es decir, una onza de enzima por una onza de azúcar. Se tiene una reducción en el DBO apreciada en la muestra tratada, y además está por debajo de los 60 mg/l indicados en la NOM 001 para protección de vida acuática.

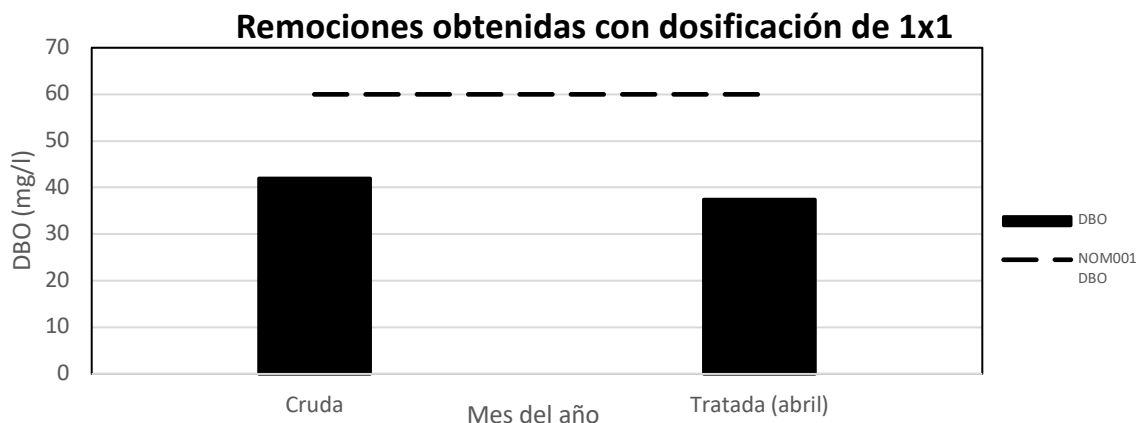


Figura 25. Remociones obtenidas con la dosificación 1x1



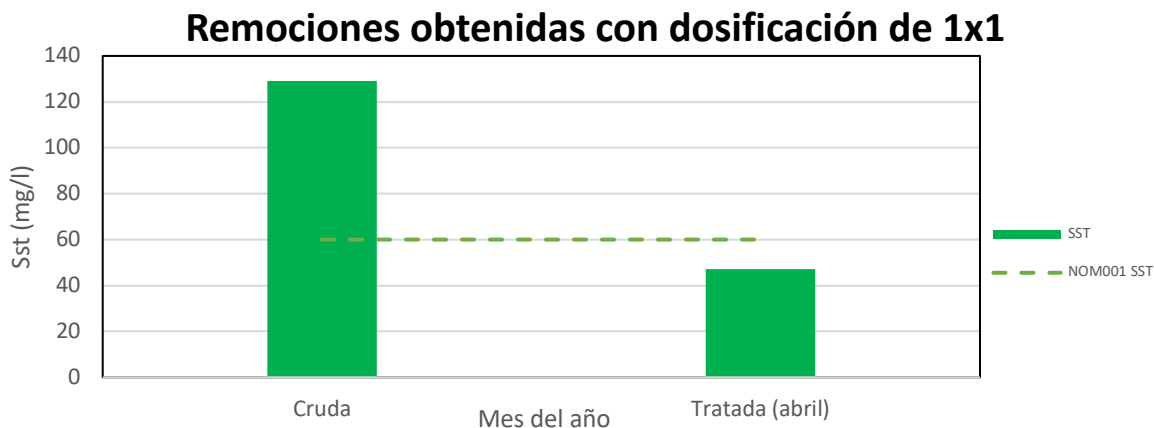


Figura 26. Remociones de SST con dosificación de 1x1

En la figura 26, se presentan las remociones de los Sólidos Suspendidos Totales con las concentraciones de 1x1. Se logran remociones de tal forma que se cumple con lo especificado en la NOM001 para protección de vida acuática, ya que para el caso de las descargas que se están presentando en la PTAR del CIAC se debe cumplir con el parámetro indicado.



Figura 27. Remociones en Sólidos Sedimentables obtenidos con la dosificación 1x1





En la figura 27, se presentan los resultados obtenidos como remociones de los Sólidos Sedimentables con la dosificación 1x1, una onza de enzima por una onza de azúcar, en este caso no es apreciable el aporte significativo de la enzima.

En las siguientes figuras se presentan las remociones obtenidas con la dosificación de 2 onzas de enzima por 2 onzas de azúcar para las aguas residuales de la Planta del CIAC.

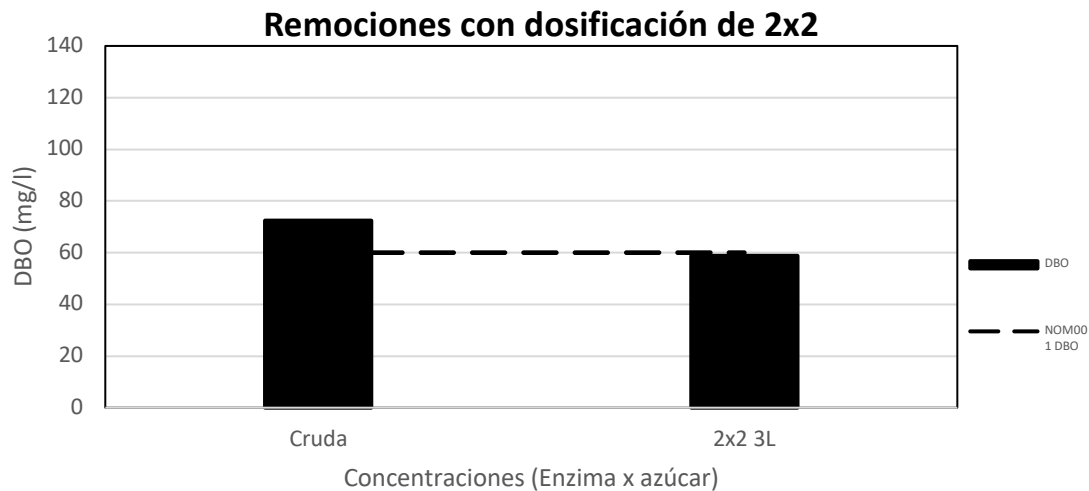


Figura 28. Remociones de DBO obtenidas con la dosificación de 2x2

En la figura 28, se presentan las remociones de DBO obtenidas con una dosificación de 2 onzas de enzimas por 2 onzas de azúcar. Se puede observar una reducción de sólidos quedando por debajo de la muestra cruda sin tratar y al mismo tiempo se cumple con la NOM 001 para protección de vida acuática.



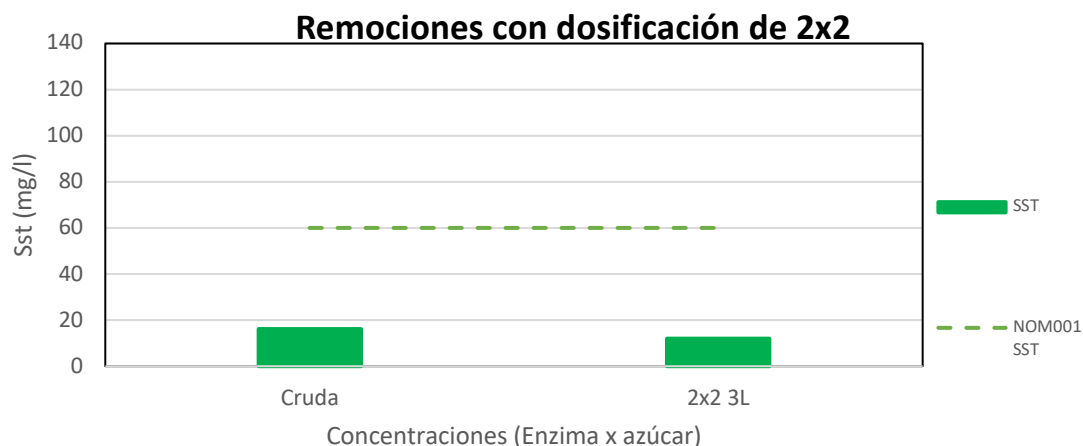


Figura 29. Remociones de la dosificación de 2x2 en los SST

En la figura 29, se presentan las remociones logradas con los Sólidos Suspendingos Totales con la dosificación de dos partes de enzimas por dos partes de azúcar. Se logra bajar los sólidos respecto a la muestra cruda y también se cumple con la NOM001.

En la figura 30, se observa que se llega a una reducción de la muestra tratada respecto a la no tratada, con la dosificación de dos onzas de enzimas por dos onzas de azúcar en los Sólidos Sedimentables. Cumpliéndose al mismo tiempo con lo indicado en la NOM001 para protección de vida acuática.

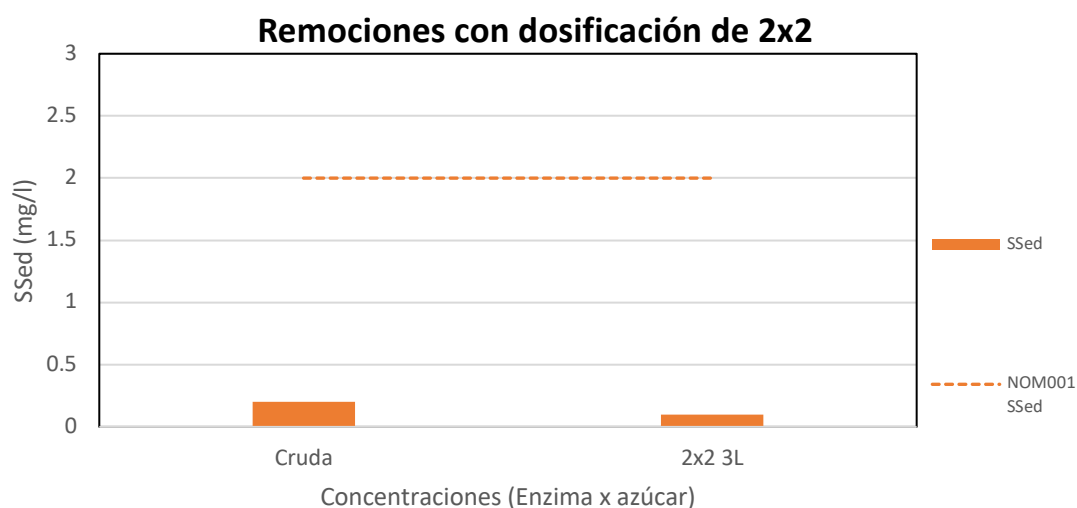


Figura 30. Remociones de SSed obtenidas con la dosificación de 2x2





En las siguientes gráficas, se muestran los resultados de remociones obtenidas con la dosificación de ½ onza de enzima por ½ onza de azúcar.

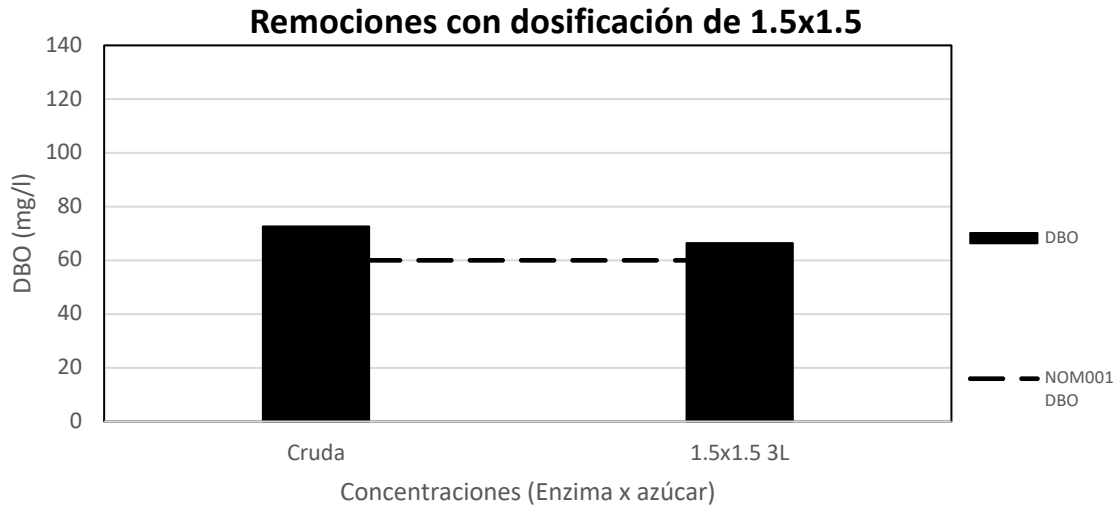


Figura 31. Remociones de DBO de la dosificación 1 1/2 x 1 1/2

En la figura 31, se observa que la dosificación de 1 ½ onzas de enzima por 1 ½ onzas de azúcar reduce la DBO respecto a las muestras cruda, sin embargo, no se logra cumplir con lo indicado en la NOM001 para la protección de vida acuática.

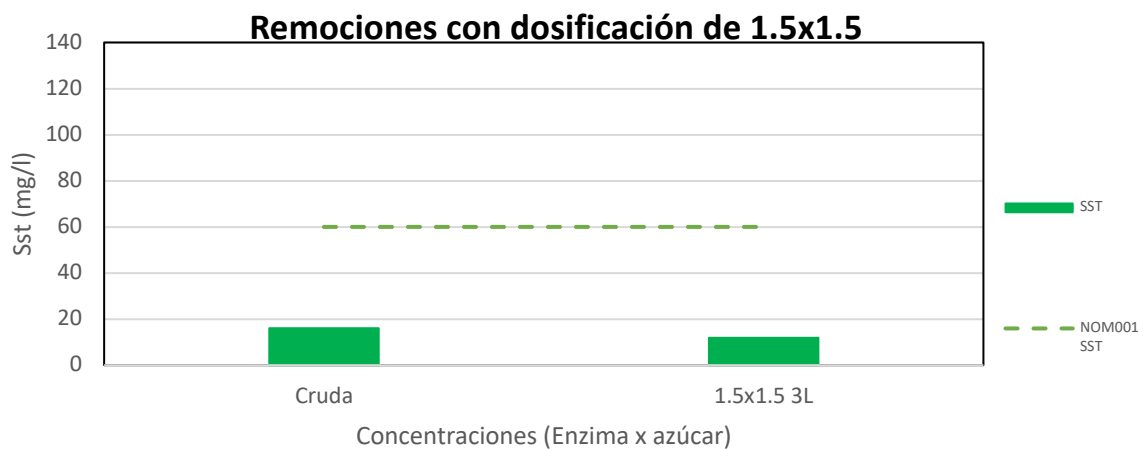


Figura 32. Remociones de SST de la dosificación 1 1/2 x 1 1/2





La figura 32 muestra las remociones de los Sólidos Suspendidos Totales, ambas muestras, es decir, la cruda y la tratada con enzimas cumplen con lo especificado en la NOM001 para protección de vida acuática, además, la muestra tratada en comparación con la no tratada presenta una reducción de los sólidos.

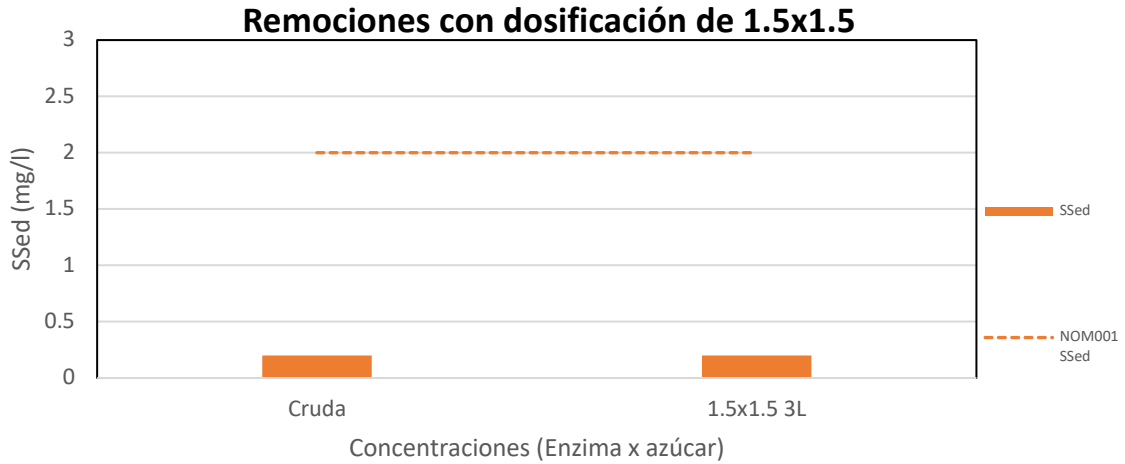


Figura 33. Remociones de SSed de la dosificación 1 1/2 x 1 1/2

Las remociones de los Sólidos Sedimentables se presentan en la figura 33. Ambas muestras, la tratada y a cruda, están por debajo de lo indicado en la NOM001. En este caso no es notorio el aporte del tratamiento con las enzimas en el agua tratada.

En las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos con las dosificaciones de 1/2 de onza de enzima por 1/2 de onza de azúcar.

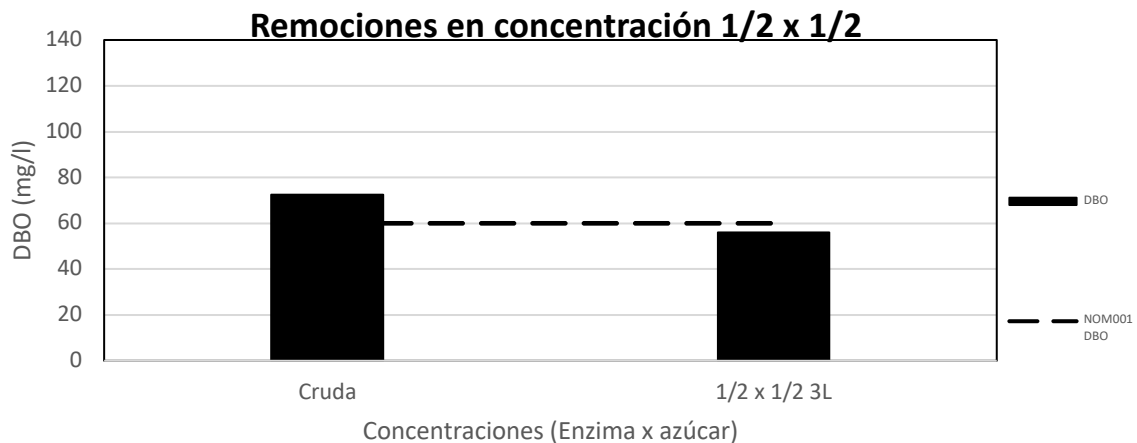


Figura 34. Remociones de DBO obtenidas con la dosificación de 1/2 x 1/2





La figura 34, muestra las remociones obtenidas de DBO con la dosificación de $\frac{1}{2}$ de onza de enzima por $\frac{1}{2}$ de onza de azúcar. Se compara la muestra tratada vs la muestra cruda, lográndose una reducción de sólidos en la muestra tratada y además, se logra cumplir con la NOM001 de protección para vida acuática.

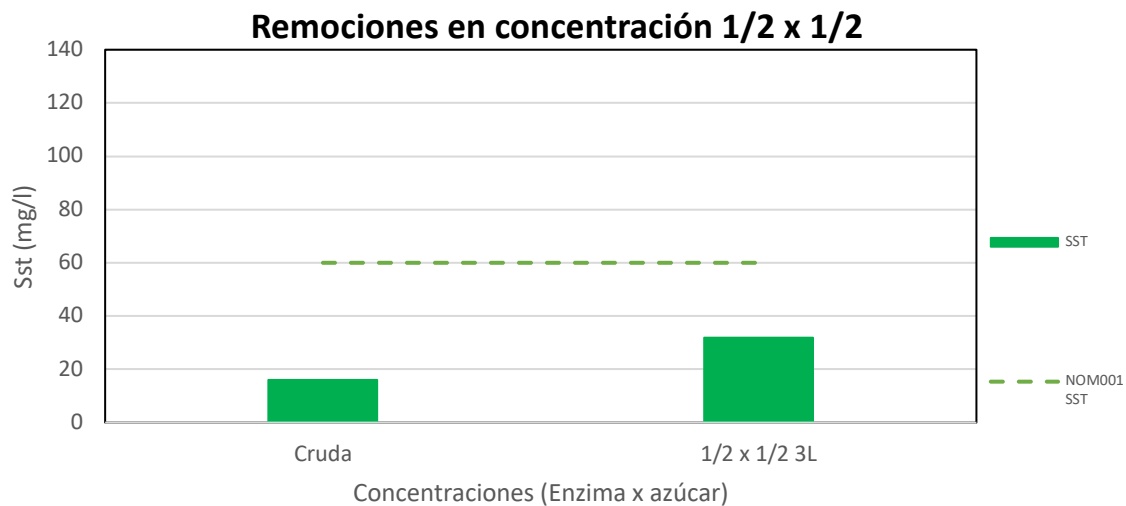


Figura 35. Remociones de SST obtenidas con la dosificación de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$

La figura 35, muestra las remociones logradas en los Sólidos Suspendidos Totales en la muestra tratada con enzimas con la dosificación $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$. No se tienen resultados favorables, esto debido posiblemente a un error en el proceso del muestreo, dando como resultado lo indicado en la gráfica.



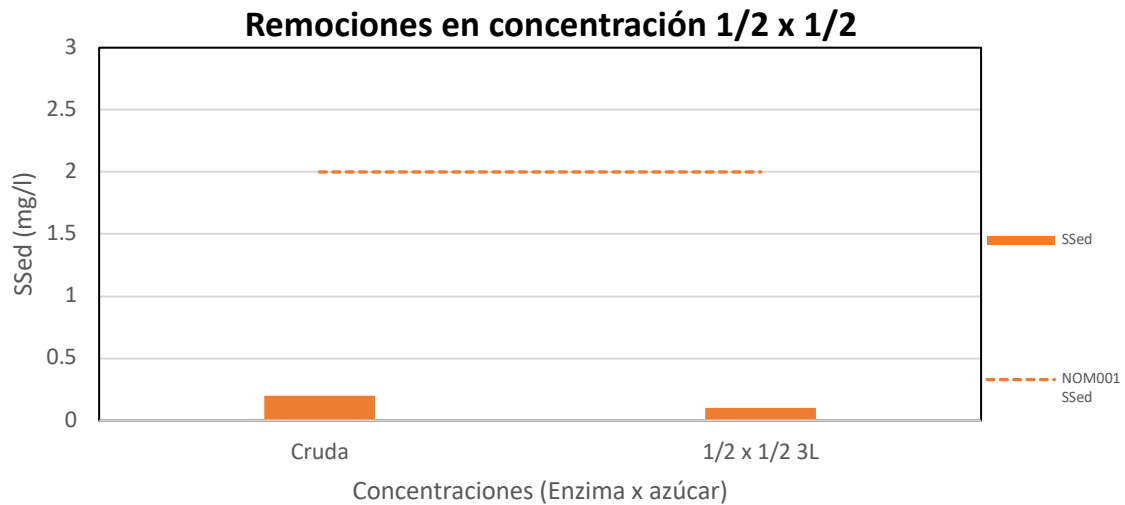


Figura 36. Remociones de SSed obtenidas con la dosificación de 1/2 x 1/2

Las remociones de los Sólidos Sedimentables obtenidos con la dosificación $\frac{1}{2}$ de enzima por $\frac{1}{2}$ de azúcar se presentan en la figura 36, donde es posible apreciar una reducción de dichos sólidos. Tanto la muestra cruda como la tratada con enzimas cumplen con la NOM001.

9 CONCLUSIONES

Es una lástima que se tengan estructuras civiles tan importantes en la UMSNH y que no tengan función alguna o funcionen parcialmente debido.

De las dosificaciones trabajadas se puede observar que con la de 1x1 se obtuvieron las remociones más favorables, ya que, en todas las gráficas mostradas para los parámetros indicados, DBO, SST y SSed, se lograron reducciones en los sólidos cumpliendo con la NOM001 para protección de vida acuática, pero además se presentan reducciones en comparación con las muestras crudas o sin tratar.

Las muestras tratadas con la dosificación 2x2 presentan buenos resultados en cuanto a remociones se refiere para los parámetros DBO, SST y SSed, sin embargo, esta dosificación implica un mayor consumo de enzimas por lo que resulta en mayor costo de operación de la planta.





Para el caso del agua tratada con la dosificación de 1.5x1.5, la DBO no se logra reducir lo suficiente para cumplir con la NOM001, en este caso no es recomendable el empleo de esta dosificación.

La dosificación de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ presenta un error, no estamos seguros en donde se produjo, pero ese error refleja una lectura incorrecta en el parámetro de los Sólidos Suspendidos Totales.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es recomendable el uso enzimas en el tratamiento de aguas residuales con contaminantes de conjuntos habitacionales domesticas, como es el caso de las aguas tratadas en esta investigación. Sin embargo, es recomendable continuar con estudios del agua tratada por este proceso de enzimas, ya que falta por concluir todo el tratamiento planteado y tener resultados al final de todo el proceso. Esperando tener aún resultados más alentadores.

Con la presente investigación también se muestra que la dosis sugerida por el fabricante tiende a ser la más conveniente por los resultados obtenidos.

Se logró comprobar que las enzimas actúan desde que son aplicadas y por lo menos tienen 5 días de desarrollo para degradar contaminantes orgánicos, ya que las muestras a 2 y 5 días presentan congruencia en cuanto a la remoción. Un estudio posterior de tiempo de dosis para determinar cuántos días son los adecuados para aplicación de nueva dosis podría ser la continuación de esta investigación.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL HONORABLE CONGRESO DE LA UNION LEY DE AGUAS NACIONALES. **2022**, 1–91.
2. Van der Hoek, W. A framework for a global assessment of the extent of wastewater irrigation: the need for a common wastewater typology. *Wastewater use Irrig. Agric. confronting livelihood Environ. realities* **2004**.





3. Saravanan VS; Mollinga, P.P.; Bogardi, J.J. Global change, wastewater and health in fast growing economies. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **2011**, 3, 461–466, doi:<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.10.009>.
4. CONAGUA *Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*; 2015; ISBN 9786076260159.
5. Srinivasan, J.T.; Reddy, V.R. Impact of irrigation water quality on human health: A case study in India. *Ecol. Econ.* **2009**, 68, 2800–2807, doi:10.1016/j.ecolecon.2009.04.019.
6. Jamal Abu-Ashour, H.L. Transport of bacteria on sloping soil surfaces by runoff. *ENVIRONMENTAL Toxicol.* **2000**, doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-7278\(2000\)15:2<149::AID-TOX11>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-7278(2000)15:2<149::AID-TOX11>3.0.CO;2-O).
7. Metcalf, & E. *Ingeniería de Aguas Residuales.*; S.A., M.W.-H.D.E., Ed.; Madrid, España, 2000;
8. Russell, D.L. *Tratamiento de aguas residuales*; Reverté, Ed.; 1a ed.; 2021; ISBN 9788429179798.
9. GUADARRAMA-TEJAS, Rosendo*†, KIDO-MIRANDA, Juan, ROLDAN-ANTUNEZ, Gustavo y SALAS-SALGADO, M. Contaminación del agua. *Rev. ciencias Ambient. y Recur. Nat.* **2016**, 2, 1–10.
10. Sandoval Yoal, Luciano ; Estrada Arriaga, E.B. *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Procesos de oxidación bioquímica con biomasa suspendida*; Naturales, S. de M.A. y R., Ed.; 1st ed.; Tlalpan, México, 2015; ISBN 978-607-626-011-1.
11. Gobernación, S. de *DECRETO por el que se Declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.* Presidencia de la República; 2012;
12. CONAGUA *Estadísticas del agua en México. Gobierno federal.*; 2018;
13. OMS *Informe del GLAAS de 2012: Análisis y evaluación mundiales del saneamiento y el agua potable de ONUAgua. El reto de ampliar y mantener los servicios.*; 2012; ISBN 978 92 4 350336 3.





14. OMS-UNICEF *Progresos en materia de agua potable y saneamiento. Informe de actualización (2014).*; 2014; ISBN 978 92 4 350724 8.
15. CONAGUA Gerencia de Planificación Hídrica Available online: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/> (accessed on Aug 28, 2021).
16. Robles, F.O.; Rojo, J.C.T.; Bas, M.S. Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes.: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales. **2014**, 216.
17. Chiva Vicent, S.; Berlanga Clavijo, J.G.; Martínez Cuenca, R.; Climent Agustina, J. *Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia*; 2018; ISBN 9788416546657.
18. Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Centa, Secr. Alianza por el agua, Ecol. y Desarro. 2008*, 264.
19. Córdoba Adame, Diego Alejandro; Vera Solano, J.A. Tratamiento de agua residual industrial de curtiembre por medio de la electrocoagulación. *Cuad. Act. 2020*, 12.
20. Raquel De los Ángeles Junco Díaz, C.M.R.P. Microbiología y Parasitología Médicas. In *Researchgate*; 2013; pp. 1–10.
21. Valencia, J.A. *Teoria y Practica de la purificacion de agua.*; Nomos S.A.; Colombia, 2012;
22. Carmen Arnáiz, L.I. y J.L. Tratamiento biológico de aguas residuales. *Tecnol. DEL AGUA 2000*, 199.
23. Rubens, R. *Tratamiento de aguas residuales*; Reverté S.A, Ed.; 1996;
24. Menéndez-Gutiérrez, C.; Dueñas-Moreno, J. Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales Design and scaleup criteria of biodiscs for wastewater treatment. **2020**, 51, 64–74.
25. Maciel, M.J.M.; Castro e Silva, A.; Ribeiro, H.C.T. Industrial and biotechnological applications of ligninolytic enzymes of the basidiomycota: A review. *Electron. J. Biotechnol. 2010*, 13, doi:10.2225/vol13-issue6-fulltext-2.
26. Durán, N., Souza, J., Ferraz, A., & Esposito, E. The role of ligning peroxidase and manganese





- peroxidase. In Proceedings of the Proceeding of the First National Meeting of Environmental Applied Microbiology; 1997; p. 232.
27. Pérez, S.A.; Niño, Z.M.; Hernández, V.; Hernández, C. Use of urease type enzymes for the treatment of wastewater with a high organic nitrogen content | Uso de enzimas de tipo ureasa en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido en nitrógeno orgánico. *Inf. Technol.* **2007**, *18*, 41–48.
 28. Miranda-Mandujano, E.; Moeller-Chávez, G.; Buitrón, G.; Garzón-Zúñiga, M. Obtención de peroxidasas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Rev. Ciencias Nat. y Agropecu.* **2017**, *4*, 12–14.
 29. Morris, D.R.; Hager, L.P. Chloroperoxidase. *J. Biol. Chem.* **1966**, *241*, 1763–1768, doi:10.1016/s0021-9258(18)96701-3.
 30. Dalal, S.; Gupta, M.N. Treatment of phenolic wastewater by horseradish peroxidase immobilized by bioaffinity layering. *Chemosphere* **2007**, *67*, 741–747, doi:10.1016/j.chemosphere.2006.10.043.
 31. Choi, S., Shong, E., Lee, K., Noon, S., & Gu, M. Pentachlorophenol degrading using lgnin peroxidase produced from the Phanerochaete chrysosporium immnobilized in polyurethane foam Biorem Phytorem. In Proceedings of the Proceedings of the First International Conference Rem Chlorinated Recalcitrant; 1998; p. 161.
 32. GUTIÉRREZ, P.A.; Rojano, B.A.; Of, D.; Cicloartane, T.; Benjamín A. ROJANO Docking de cicloartanos inhibidores de tirosinasa. *Vitae, Rev. La Fac. Química Farm.* **2009**, *16*, 245–251.
 33. Moya, A.B. Caracterización y función biológica de la Lacasa producida por Streptomyces ipomoea CECT 3341. Aprovechamiento de su potencial oxidativo para la degradación de contaminantes ambientales, 2015.
 34. Valladão, A.B.G.; Sartore, P.E.; Freire, D.M.G.; Cammarota, M.C. Evaluation of different pre-hydrolysis times and enzyme pool concentrations on the biodegradability of poultry slaughterhouse wastewater with a high fat content. *Water Sci. Technol. a J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.* **2009**, *60*, 243–249, doi:10.2166/wst.2009.341.





35. Metcalf, & E. *Ingeniería de Aguas Residuales.*; McGRAW W-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.: Madrid, España, 1995;
36. Romero Rojas, J.A. *Tratamiento de Aguas Residuales*; Escuela Colombiana de Ingeniería.: Bogotá, Colombia, 2001;
37. Eduardo Ayala, M.; Peñuela Mesa, G.; Luis Montoya, J. Procesos de membranas para el tratamiento de agua residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido 23. *Rev. Fac. Ing.* **2006**, *38*, 53–63.
38. Barrera Díaz, C.E. *APLICACIONES ELECTROQUÍMICAS AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*; Reverté Ediciones., Ed.; México, D.F., 2014;
39. F. E. Tang; C. W. Tong A study of the garbage enzyme's effects in domestic wastewater. *World Acad. Sci. Eng. Technol.* **2011**, *60*, 1143–1148.
40. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de F. *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*; UNESCO, Ed.; Francia, 2017; Vol. 3; ISBN 9789568200329.
41. Academia Mexicana de Ciencias *El agua en México: cauces y encauces*; Academia Mexicana de Ciencias, Ed.; 1era ed.; Academia Mexicana de Ciencias: México, D.F., 2010; ISBN 9786079516611.
42. Noyola, A.; Morgan, J.; Guereca, L. *Contacto : idrc@pumas.ii.unam.mx*; 2013; ISBN 9786070248221.
43. Ureña, I.A. *MANUAL TÉCNICO DOTACIONES AGUA PARA CALCULAR LAS NECESIDADES DE LA CIUDAD DE MÉXICO*; México, D. F., 2004;

