

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÉSIS

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES CONVENCIONAL PARA
UNA GRANJA ACUÍCOLA**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:

MARCELA LÓPEZ GURGUA

DIRECTOR:

M.C. ULISES GONZÁLEZ VÁZQUEZ





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA GENERAL

DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES

DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fecha: 23 de Agosto de 2024

C. Marcela López Gurgua

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional para una granja acuícola.

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

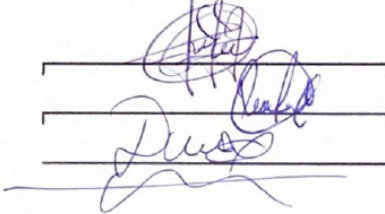
Revisores

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Mtro. Ulises González Vázquez

Firmas:



Cop. Expediente

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y a la Escuela de Ingeniería Ambiental, por permitirme el uso de sus instalaciones y la formación académica.

Al Dr. Ulises González Vázquez, por compartirme sus conocimientos, tiempo, paciencia y apoyo absoluto brindados durante el proceso de la tesis.

A la Lic. Heidy Selene Montejo Bautista, por los consejos, posibilitarme la creación de esta tesis, el apoyo y los ánimos a continuar.

Al Dr. José Manuel Gómez Ramos y Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez, por brindarme su apoyo, tiempo y consejos para pulir este trabajo.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental por ayudarme a formarme académicamente.

A mis padres por su apoyo incondicional, los ánimos y su amor que me impulsaban a seguir adelante.

A mi hermana por cuidarme, ser mi refuerzo y mi pilar. A Fati por ser mi incondicional, escucharme y ser quien siempre está. A padawan, ragazza, mis amigos e iglesia por estar conmigo en el momento oportuno.

A Dios quien hasta el día de hoy me ha sostenido con amor, gracias por todo.

Dedicó esta tesis a mi Abba

ÍNDICE GENERAL

LISTADO DE ABREVIATURAS	1
RESUMEN	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. ANTECEDENTES	4
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
IV. JUSTIFICACIÓN	8
V. MARCO TEÓRICO	9
5.1 Agua	9
5.1.1 Aguas residuales	9
5.1.2 Clasificación de las aguas residuales.....	9
5.2. Normatividad mexicana para aguas residuales.....	11
5.2.1 Parámetros que determinan la calidad del agua	11
5.2.1.1 Recolección de muestra.....	12
5.2.1.2 DBO ₅	12
5.2.1.3 DQO	12
5.2.1.4 pH.....	12
5.2.1.5 Temperatura.....	12
5.2.1.6 Turbiedad	13
5.2.1.7 Alcalinidad.....	13
5.2.1.8 Color.....	13
5.2.1.9 Oxígeno disuelto	13
5.2.1.10 Conductividad	14
5.2.1.11 Cloruros.....	14
5.2.1.12 Dureza	14
5.2.1.13 Sólidos sedimentables, volátiles, disueltos y suspendidos.	14
5.2.1.14 Coliformes totales y fecales	15
5.3. Tratamiento de Aguas residuales.....	15
5.3.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales.....	16
5.3.1.1 Procesos físicos	16

5.3.1.2 Procesos químicos	16
5.3.1.3 Procesos biológicos	17
5.4 Planta de tratamiento de agua residual	17
5.4.1 Tratamientos preliminares	17
5.4.2 Tratamientos primarios	18
5.4.3 Tratamientos secundarios	19
5.4.4 Tratamientos terciarios	20
5.5 La acuicultura	20
5.5.1 Impacto de las granjas acuícolas	20
5.5.1.1 Impactos en el medio abiótico	21
5.5.1.2 Impactos en el medio biótico	21
5.5.2 Normatividad para la acuicultura	22
5.5.3 PTAR en las granjas acuícolas	24
VI. OBJETIVOS.....	26
6.1 Objetivo general.....	26
6.2 Objetivos específicos.....	26
VII. HIPÓTESIS.....	26
VIII. METODOLOGÍA	26
IX. RESULTADOS OBTENIDOS	30
X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
XI. CONCLUSIONES	42
XIII. ANEXOS.....	43
XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	52

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Función de las lagunas de oxidación. Fuente: Rojas (2005).....	19
Imagen 2. Ubicación y dimensión de la granja acuícola. Fuente: Google Earth, 2022	30
Imagen 3. Diseño de PTAR convencional para una granja acuícola. Fuente: Creación propia.....	32
Imagen 4. 1er estanque de retención de alevines vista SE. Fuente: creación propia	33
Imagen 5. 1er estanque de retención de alevines vista hacia la red. Fuente: creación propia.....	33
Imagen 6. 2do estanque de tipo convencional con rocas y ladrillos vista SE. Fuente: creación propia.....	35
Imagen 7. 2do estanque de tipo convencional vista SE aumentada. Fuente: creación propia.....	35
Imagen 8. Lagunas de oxidación para la PTAR de una granja acuícola. Fuente: creación propia.....	36
Imagen 9. Diseño de la planta en el software de simulación GPS-X 8.0	37
Imagen 10. Huevos de <i>Oreochromis Niloticus</i> en su desarrollo embrionario. Fuente: Meyer, 2007.	39
Imagen 11. Peces-larva de <i>Oreochromis Niloticus</i> . Fuente: Meyer, 2007.	39
Imagen 12. Alevines <i>Oreochromis Niloticus</i> . Fuente: Meyer, 2007.	39
Imagen 13. Planos de la granja acuícola.....	43
Imagen 14. Análisis de laboratorio de aguas naturales.....	45
Imagen 15. PTAR vista estructural SO. Fuente: creación propia.	47
Imagen 16. PTAR vista conceptual SO. Fuente: creación propia	47
Imagen 17. Estanques de la PTAR vista conceptual SE. Fuente: creación propia.	48
Imagen 18. Estanques de la PTAR vista estructural SO. Fuente: creación propia.	48
Imagen 19 Estanques de la PTAR vista realidad SE. Fuente: creación propia	49

Imagen 20 Flujo para la simulación de GPS-X 8.0	50
Imagen 21 Áreas y superficies para la simulación de GPS-X 8.0	50
Imagen 22 Características climatológicas para la simulación de GPS-X 8.0	51
Imagen 23 Selección de parámetros para la simulación de GPS-X 8.0.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos y objetivos de los tratamientos preliminares. Fuente: Ronces, 2018	18
Tabla 2. Procesos y objetivos de los tratamientos primario. Fuente: Ronces, 2018.	18
Tabla 3. Procesos y objetivos de los tratamientos secundarios. Fuente: Ronces, 2018	19
Tabla 4. Resultados de análisis de aguas naturales	27
Tabla 5. Resultados de parámetros del agua de estanque de la granja acuícola. Fuente: creación propia	29
Tabla 6. Porciones de las aguas según su uso en la granja acuícola. Fuente: Administrativos de la granja acuícola.	31
Tabla 7. Resultados de GPS-X 8.0 en la simulación con flujos y días diferentes...38	
Tabla 8. Comparación de resultados de la simulación con los límites máximos permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1996	38
Tabla 9. Resultados de parámetros del agua efluente del estanque de una granja acuícola que cosecha <i>Oreochromis Niloticus</i> . Fuente: Carrasco et al. (2005).....	41
Tabla 10. Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Fuente: NMX-AA D.O. (1997).....	45
Tabla 11. Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Fuente: NMX-AA D.O. (1997).....	46

LISTADO DE ABREVIATURAS

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CONAPESCA: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

LAN: Ley de Aguas Nacionales

LGEEPA: Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

LGPAS: Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana

OD: Oxígeno Disuelto

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PTAR: Planta de Tratamiento de Agua Residual

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SEMARNAT: Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales

RESUMEN

La inquietud en el suministro de agua dulce y el cambio de su composición natural deja mucho que desear en las granjas acuícolas ya que la calidad del agua se ve modificada, aunque sea en lo mínimo, es por ellos que las plantas de tratamiento no son la excepción para la acuicultura. Para la instalación de una PTAR es de suma importancia la ubicación física de las instalaciones acuícolas ya que es uno de los determinantes más importantes por la exposición y, por tanto, de la vulnerabilidad. Hay que hacer notar la importancia que determinados eventos pueden tener localmente, por ejemplo, escorrentías o avenidas de ríos cercanos, por lo que es necesario disponer de datos históricos. El presente estudio tiene como propósito diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales convencional para una granja acuícola en el cual se estudiaron diferentes autores para seleccionar el diseño que más se asemeje a las características del área y contaminantes. El diseño fue simulando en el sistema en GPS-X 8.0 en donde los parámetros de análisis del laboratorio las condiciones meteorológicas y geográficas fueron introducidas en el software y para verificar su eficiencia se comparó con la NOM-003-SEMARNAT-1997 en donde los resultados demostraron que obtuvo una remoción del 50%. Debe considerarse que la necesidad de la información de los beneficios de tratar las aguas residuales apoyaría a reducir la contaminación de los medios abióticos y bióticos, viendo por la aprobación social y el cuidado económico para los acuicultores. Un análisis más extenso de las aguas acuícolas para que estos aspectos ayuden a buscar una mejor solución para tratar las aguas y observar aún más la eficiencia de una planta de tratamientos.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores principales de crisis urbana de nuestros días tiene que ver con la disposición de agua para la vida diaria en las viviendas, comercios, servicios e industrias (Lahera, 2010). Hoy los tratamientos de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es de suma importancia disponer de agua de calidad y en cantidades suficientes, esto permite una mejora al ambiente, a la salud y a la vida de los seres humanos; la forma de tratar las aguas contaminadas se basa en las técnicas que se utilizan en estos procesos, éstas pueden clasificarse según su operación, en convencionales o alternativas (SAPAM, 2014), también depende de los contaminantes que se pueden exhibir en las aguas. Los procesos que intervienen en las plantas de tratamiento incluyen sedimentación, filtración, transferencia de gases, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación, reducción química, conversión y descomposición biológica, fotosíntesis, fotooxidación, y asimilación por parte de las plantas (Bacaicoa, 2016).

La LGPA en su artículo 4º, define la pesca como “acto de extraer, capturar, recolectar o cultivar, por cualquier procedimiento, especies biológicas o elementos biogénicos cuyo medio de vida total, parcial o temporal sea el agua, así como los actos previos o posteriores relacionados con ellas” (DOF, 2018, p.3), por lo que la acuicultura significa, cultivar en agua. Alrededor de 60 millones de personas de la población mundial se dedican a la piscicultura y a la agricultura, entonces, la incertidumbre en el suministro de agua dulce y su disposición final causa inquietud a muchos países, resulta indispensable interponer la necesidad del tratamiento de estas aguas que son en su mayoría desechadas, para así reducir al mínimo el riesgo para la salud pública. Las aguas residuales de una acuicultura, más que un problema, pueden generar múltiples oportunidades, su composición a veces permite su reúso y su reciclaje de agua por los nutrientes que contiene, esta medida ha incrementado su popularidad en los últimos años (Falkenmark, 2004). Obregón en el 2006 menciona la importancia sobre las lagunas de oxidación y lo fundamentales que son para las granjas acuícolas. Sin embargo, a pesar de las bondades demostradas por las lagunas de oxidación, la principal problemática es la falta de

recursos económicos, de ahí los sistemas convencionales puedan trabajar a la par con estos tratamientos primarios para lograr una rentabilidad, en el cual las empresas públicas y privadas puedan implementar, teniendo como beneficio un impacto medioambiental significativo para ser reutilizado con otros fines o bien para ser vertido en un cauce teniendo en cuenta que la calidad del agua se encuentre dentro de los valores de los límites máximos permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Como objetivo este trabajo presenta una propuesta de diseño de una planta de tratamiento convencional que sea viable para las granjas acuícolas y así reducir la contaminación ambiental por los desechos de descargas de las aguas residuales provenientes de las granjas acuícolas.

II. ANTECEDENTES

Casi el 90% de la producción acuícola se lleva a cabo en Asia, pero a lo largo de los últimos 15 años, la acuicultura ha registrado un crecimiento relativamente rápido en América Latina y el Caribe, sobre todo en Brasil, Chile, Ecuador, Honduras y México (Morales y Morales, 2006) y gracias a la producción de pesca marina y en aguas continentales, México se emplazó en 2018 entre los 20 países con más producción (FAO, 2020).

En México la acuicultura, se desarrolló entre los pueblos prehispánicos, primero con fines ornamentales y religiosos, posteriormente con fines alimenticios, es hasta 1882 donde se fortalece una ley promulgada en 1872, en la cual se decreta como de uso público los mares territoriales, esteros, lagunas y ríos, tratándose de diversas materias, entre ellas el buceo de pesca, la pesca y la piscicultura y por la creciente demanda de permisos para la acuicultura y pesca deportiva. Por parte de particulares se llevó al Gobierno de la República a expedir el Reglamento para la Propagación de la Piscicultura en México en 1891, en el cual se establecen las bases legales que la regían. Fue hasta 1920-1921 cuando se liberan totalmente las concesiones para el cultivo de peces de agua dulce, creándose una granja acuícola en Chihuahua y otra en Texcoco (Krauss, 2019). Actualmente la SAGARPA,

LGPAS, CONAPESCA, LGEEPA y LAN tienen la responsabilidad de otorgar: concesiones, permisos, preservar, conservar y restaurar el ambiente en materia de la pesca y la acuicultura. La Secretaría de Marina es otra pieza importante al inspeccionar y vigilar las actividades pesqueras y acuícolas en México.

En cuanto a los tratamientos de aguas residuales el historiador griego Heródoto (484-425 a.C.) registró en sus escritos el primer proceso de tratamiento de agua residual que sucedió en la ciudad de Babilonia (ubicada en la Baja Mesopotamia), este tratamiento consistía en que el agua de desecho de la ciudad se canalizaba a un sumidero, donde decantaba y sedimentaba para evitar la contaminación del río (Moreno *et al.*, 2003). En 1806 en París empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua, aquí el agua sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración y los filtros consistían de arena, carbón y su capacidad era de seis horas. En 1827 el inglés James Simplón construyó un filtro de arena para la purificación del agua potable (Teamb, 2019). En México durante el siglo XX, el énfasis en el tratamiento del agua residual consistió en el abatimiento de la contaminación, la protección de la salud pública y la prevención a la degradación del ambiente, a través de la remoción de los materiales biodegradables, nutrientes y patógenos (Asano, 2004). Durante las últimas décadas, el beneficio potencial del reúso del agua residual en vez de su disposición en el ambiente ha sido reconocido en muchos países industrializados (Madera, 2006). En el año 2006 según la CONAGUA existían 1868 plantas de los procesos de tratamientos de aguas residuales industriales y para el año 2019 existen poco más 4,698 (CONAGUA, 2021) esto significa que dentro de los 13 años de diferencia las plantas de tratamiento industriales tuvieron un aumento del 250%.

El uso de agua residual para fertilizar lagunas con peces inicia en Alemania al final del siglo XIX, en Calcuta india inicia en 1930 y actualmente existen muchas lagunas instaladas en el mundo (Madera, 2006). Desde la antigüedad, la acuicultura ha estado usando desechos, incluyendo aguas residuales domésticas para fertilizar los estanques y lagunas y aumentar la producción de peces. En su forma moderna, el reúso del agua residual en acuicultura y la irrigación de cultivos ofrecen beneficios

atractivos, incluyendo el aumento de fuentes de agua para uso agrícola y acuícola, y así disminuir la polución de fuentes superficiales de agua (Madera, 2006). Otros optan por descargar las aguas residuales en ríos lagos o bien al mar abierto modificando su composición natural.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La desnutrición en el mundo se asocia tanto a la falta de calidad de alimentos, la carencia de proteína animal y sus precios relativamente altos para la mayoría de los mercados, hacen que se requiera de una producción más alta, una disminución de costos de producción y el enfoque en fuentes de proteína animal alternas. El pescado emerge como una de las principales fuentes de proteína de cualquier país en desarrollo (Falkenmark, 2004). Desde 1961 a 2017 la demanda y el consumo se han incrementado a un ritmo anual medio del 3,1% (FAO, 2020) y en las próximas décadas, la acuicultura contribuirá a la producción global de alimento y ayudará más a la reducción mundial de la pobreza y de la inseguridad alimentaria. El sector de la pesca y la acuicultura constituye una importante fuente de ingresos en la que se basan los medios de vida de entre el 10% y el 12% de la población mundial, cantidad que duplica las cifras del crecimiento poblacional (FAO, 2020). Casi 60 millones de personas se dedican exclusivamente al sector primario y otros 140 millones están empleados a lo largo de la cadena de valor, de la captura a la distribución (FAO, 2016) esto porque la producción de la acuicultura genera más alimento de base proteína animal que cualquier otro sector equivalente. El consumo aparente anual de las regiones industrializadas asciende a 24,4 kg de pescado per cápita, frente a 19,4 kg de las que están en desarrollo y 9,3 kg de aquellas con bajos ingresos y déficits alimentarios (FAO, 2020).

El consumo de agua en México se distribuye de la siguiente manera: un 76.3% se destina a suplir la demanda de la actividad agrícola y pecuaria, el 17% para abastecer a la población, el 5.1% para atender a la industria, el 1.4% para el desarrollo de la acuicultura, y el 0.2% para las termoeléctricas (Cisneros y

Saucedo, 2016). En el 2018 la producción de pescado fue de 247,000 de toneladas equivalente en peso vivo y se estima que para el 2030 tendrá un crecimiento del 47.7% y según estimaciones de CONAPESCA, de 300,000 trabajadores del sector pesquero, el 79% captura y el 21% es acuicultor.

Establecer una relación cuantitativa entre pesca/acuicultura y contaminación en ríos y lagos no es fácil, esto porque hay pocos estudios al respecto en México, lo cual se debe a que hay muchos factores interrelacionados. A la elevada demanda de esta práctica casi nadie asume los costos por la contaminación; se pueden considerar la contaminación como un costo social que toda actividad económica genera, lo que implica una pérdida de bienestar general, dichas consecuencias de los diferentes tipos de contaminación para el medio ambiente son diversas, dependiendo la estructura de los ecosistemas y de las comunidades ecológicas y, además, pueden variar según la escala espacial y temporal. Los ríos son las vías para el transporte de contaminantes; los lagos, lagunas, y en algunos casos el mar, son el depósito final. Esto puede causar perturbaciones momentáneas y locales de graves impactos al corto y mediano plazo. A pesar de que las consecuencias pueden ser catastróficas, la exposición frecuente a derrames, descargas o fugas de aguas residuales pueden acabar con la productividad ecológica y económica de un cuerpo de agua (Aguilar *et al.*, 2006).

El reúso de aguas residuales de la acuicultura sin un previo tratamiento en los riegos de la agricultura puede que los suelos se contaminen en forma de drenado continuo de partículas contaminantes y gran parte de estos compuestos se depositan paulatinamente en los sedimentos y se adsorben en partículas húmicas, minerales y arcillas de mantos de agua. Esto puede ser el resultado de las aguas no tratadas que vierten productos químicos orgánicos e inorgánicos, muchos de los cuales son tóxicos para los organismos e incluso para los humanos. Sin embargo, los sitios de donde procede la descarga son identificables, lo que facilita su control (Aguilar *et al.*, 2006).

Algunos cambios en la legislación de algunos países incluyen una preocupación mayor sobre las cuestiones ambientales y sobre la inversión en tecnología mejorada

para tratar las aguas residuales. Estas medidas reducen, en general, el problema de la contaminación. Con el paso de los años la falta del agua y la demanda de ella para el sustento acuícola será cada vez más un problema que se debe solucionar por ello que la propuesta de una planta de tratamiento es una vía para la reducción de los contaminantes de las aguas residuales de la acuicultura por su parte se harían descargas a un caudal o bien el agua residual tratada se puede reutilizar para cultivos sin tener un impacto significativo en el suelo.

IV. JUSTIFICACIÓN

En gran parte del planeta la distribución espacial de los estanques continentales y costeros se basa más en las oportunidades de acceso a la tierra y la disponibilidad del agua que en la protección ante los impactos directos e indirectos sobre el proceso de cultivo. Respecto a lo económico, al tratarse de obras de ingeniería especializada muy costosa, las de plantas de tratamiento de agua quedan fuera del alcance de muchos municipios. Además, la necesidad de tratar las aguas servidas antes de regresarlas a los cauces naturales no se entiende como un imperativo ambiental (Lahera, 2010). Las aguas residuales pueden ser una gran alternativa en países donde el agua es limitada, aunque antes de ser usadas debe haber tenido un previo tratamiento, hay investigaciones donde prueban que el rendimiento en estas aguas tratadas tiene un impacto positivo (Obregón, 2006).

El afluente acuícola generalmente es muy disuelto y costoso de tratar, el agua procedente de los estanques de peces simplemente es descargada de regreso hacia la fuente original o hacia otro cuerpo de agua, por eso optar por un tratamiento convencional que no implique muchos gastos económicos ayudaría a reducir los impactos ambientales que una granja acuícola genera. Según Madera (2006) indica que donde hay lagunas con peces que actúan como lagunas de oxidación, se puede obtener un efluente de calidad para ser aplicado en cultivos agrícolas. Por eso la combinación de aguas tratadas derivadas de la acuicultura para el riego agrícola, la recirculación o la descarga a una fuente son una excelente estrategia y atractiva

para muchos productores. Al realizar el proyecto este ofrecerá una alternativa viable al activar la economía de la región donde se encontrará la obra, ofreciendo trabajos en la etapa de construcción con todas las medidas de higiene y seguridad y a largo plazo una fuente económica de ingresos en la comercialización de peces para su consumo.

V. MARCO TEÓRICO

5.1 Agua

El agua es el fundamento de la vida: un recurso crucial para la humanidad y para el resto de los seres vivos, contribuye a la estabilidad del funcionamiento del entorno, es, por tanto, un elemento indispensable para la subsistencia de la vida animal y vegetal del planeta (Guerrero, 2012). El 70% de la superficie terrestre está cubierta de agua líquida, y de ella, el 96% corresponde al agua salada que se compone por los océanos. Cerca del 69% del restante, 30% es el agua congelada de los polos y solo entre un 1% y un 4% corresponde al vapor de agua presente en la atmósfera (Muñoz, 2008).

5.1.1 Aguas residuales

La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación. Las aguas residuales según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) son: “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

5.1.2 Clasificación de las aguas residuales

Actualmente en todo el mundo el agua se utiliza para infinidad de cosas las cuales afectan su composición, la manera en que las aguas residuales perturban nuestro

medio ambiente y esto depende de su composición química, física y biológica; dichas aguas residuales se clasifican en 3 tipos:

- Aguas residuales domésticas: son aquellas aguas que tienen su origen de viviendas y están producidas en esencia por el metabolismo humano y por las actividades que se llevan a cabo en el ámbito doméstico (Eco-Intellution, 2019). Rodríguez (2019) menciona que: “La contaminación principal de las aguas residuales domésticas es por materia orgánica, tanto en suspensión como en disolución, normalmente biodegradables, y cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y sales minerales”. Las aguas residuales domésticas se subdividen en:
 - Aguas negras: Son las que contienen orina y heces fecales.
 - Aguas grises: Estas aguas principalmente contiene detergente y grasas, provienen de lavaplatos, lavadoras, lavabos, lavaderos y el agua de las duchas.
- Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial (Cyclucid, 2011). Este tipo de agua residual también se subdivide ya que los componentes físico-químicos y biológicos son diferentes:
 - Aguas residuales de la industria: Son aquellas aguas que acumulan vertidos y líquidos procedentes de las fábricas y centros de producción (Rodríguez, 2019).
 - Aguas residuales de la agricultura y la ganadería: Proceden de una explotación agrícola y ganadera. Incluyen contaminantes de origen orgánico y microorganismos (Rodríguez, 2019).
- Aguas residuales urbanas: son las aguas residuales domésticas o la mezcla de estas con aguas residuales industriales, aguas de escorrentía pluvial, y/o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

5.2. Normatividad mexicana para aguas residuales

La SEMARNAT es la responsable de expedir las normas que regulen la calidad de las aguas residuales con el objeto de promover su ahorro y uso eficiente, así como su reúso en otras actividades. Las concesiones o permisos de explotación, uso o aprovechamiento de agua estarán condicionados al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se produzcan. Las siguientes normas mencionan los límites permisibles de contaminantes dependiendo de donde se descargue y su uso.

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público

5.2.1 Parámetros que determinan la calidad del agua

La calidad de agua es la capacidad que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella. Cuando el conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos tiene un valor menor a los niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, se consideran de calidad para su descarga. Para eso los procesos de tratamiento remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales. Las Normas Mexicanas (NMX) sugieren las metodologías para determinar la calidad del agua y si estas deben ser tratadas o no.

5.2.1.1 Recolección de muestra

La normatividad mexicana NMX-003-AA-1980 determina el tipo de muestreo ya sea simple o compuesta y para cada tipo de zona para tomar la muestra, establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

5.2.1.2 DBO₅

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C. Este método lo propone la norma mexicana NMX-AA-028-2001.

5.2.1.3 DQO

La NMX-AA-030/2-SCFI-2011 determina la metodología del tubo sellado diluyendo el agua a 1000 mg/L para determinar la Demanda Química de Oxígeno. La concentración de masa de oxígeno es equivalente a la cantidad de dicromato consumida por la materia disuelta y suspendida, cuando una muestra de agua es tratada con este oxidante bajo condiciones definidas.

5.2.1.4 pH

El pH se define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución, La medición del valor de pH está basada en la diferencia de potencial de una celda electroquímica empleando un medidor de pH adecuado. El pH lo establece la NMX-AA-008-SCFI-2016.

5.2.1.5 Temperatura

El potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo se basa en las propiedades de los materiales de dilatarse o contraerse con los cambios de temperatura o en las propiedades eléctricas de los mismos con los que se realizará la medición; estas propiedades son siempre las mismas para una temperatura dada, lo que permite

graduar los instrumentos de medición. Esta prueba se recomienda realizarla en campo. Establecido por NMX-AA-007-2013.

5.2.1.6 Turbiedad

La NMX-AA-038-SCFI-2001 menciona que el método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina (polímero heterocíclico) preparada bajo condiciones específicas. La turbiedad de una suspensión de concentración específica de formacina se define como el equivalente a 40 UNT.

5.2.1.7 Alcalinidad

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ion hidroxilo (OH^-) según la NMX-AA-036-SCFI-2001 está basado en la medición de la alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante un álcali o un ácido según sea el caso de concentración perfectamente conocida.

5.2.1.8 Color

El color en el agua puede deberse a la presencia del contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales, según lo dicta la NMX-AA-045-SCFI-2001. El principio de este método se basa en la medición del color verdadero y/o aparente en una muestra de agua natural, mediante su comparación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto.

5.2.1.9 Oxígeno disuelto

La NMX-AA-012-SCFI-2001 establece dos metodologías para el OD. En el método electrométrico los electrodos de membrana sensible al oxígeno, están constituidos por dos electrodos de metal en contacto con un electrolito soporte, separado de la disolución de muestra por medio de una membrana selectiva, en el cátodo, que

usualmente es oro o platino, ocurre la reducción del oxígeno mientras que en el ánodo ocurre la oxidación del metal (plata o plomo). La otra metodología es el método del azida de sodio donde se adiciona una disolución de manganeso divalente y una disolución alcalina yoduro-azida de sodio a una muestra de agua contenida en un frasco de vidrio que debe permanecer cerrado, el punto final de la valoración se detecta visualmente con un indicador de almidón en una titulación.

5.2.1.10 Conductividad

La NMX-AA-093-SCFI-2000 dice que la conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura. Este valor se obtiene usando un medidor de conductividad (Conductímetro)

5.2.1.11 Cloruros

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deterioran, en forma importante la calidad del suelo, por eso la NMX-AA-073-SCFI-2001 establece la metodología para los cloruros totales en las aguas este método se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio.

5.2.1.12 Dureza

Este método de la NMX-AA-072-SCFI-2001 especifica el procedimiento para determinación de dureza en agua por titulación. La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio.

5.2.1.13 Sólidos sedimentables, volátiles, disueltos y suspendidos.

El método lo establece la NMX-AA-004-2013 y se basan en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de

base para el cálculo del contenido de sólidos. Los sólidos totales son la suma de los sólidos en suspensión, sólidos disueltos y sólidos coloidales en agua. Los sólidos suspendidos totales son aquellos sólidos constituidos por sólidos sedimentales, sólidos en suspensión y sólidos coloidales. Los sólidos sedimentales son los materiales que se depositan en el fondo de un cono Imhoff debido a la operación de sedimentación. Los sólidos en suspensión son los sólidos dispersos en agua y cuyo tamaño de particular es mayor de 100 nm. Los sólidos disueltos son las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles presentes en agua. Los sólidos totales volátiles es la cantidad de materia, capaz de volatilizarse por el efecto de la calcinación a 550°C en un tiempo de 15 a 20 minutos. Y los sólidos suspendidos volátiles son aquellos sólidos constituidos por sólidos sedimentales, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, capaces de volatizarse por el efecto de la calcinación a 550°C en un tiempo de 15 a 20 minutos.

5.2.1.14 Coliformes totales y fecales

Esta norma mexicana (NMX-AA-102-SCFI-2006) describe un método para la detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termo tolerantes y *Escherichia Coli* presuntiva (E. Coli) en agua, después de una filtración a través de una membrana celulósica, su subsecuente cultivo en un medio diferencial lactosado y el cálculo de sus números en la muestra.

5.3. Tratamiento de Aguas residuales

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

El término tratamiento de aguas según Muñoz (2008) es:

El conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, así como la eliminación de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. (p.125)

Los tratamientos de aguas dependen mucho del origen del agua y de sus contaminantes es por ello que los análisis de aguas son de real importancia para que así se le determine un tipo de tratamiento específico para su contaminante o similares. Para el tratamiento de aguas Torres *et al.* (2019) dice que “previo a diseñar y/o evaluar un proceso para el tratamiento de las aguas residuales, es importante conocer la composición de dichas aguas como punto de partida para el desarrollo de las tecnologías de tratamiento” (p.61).

En el tratamiento de aguas residuales se evalúan los efectos de fuerzas físicas, reacciones químicas, control biológico o acción microbiológica, con el propósito de producir cambios en la calidad del agua (Gutiérrez, Valencia y Aragón, 2014).

5.3.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales han de ser tratadas según los contaminantes que posean ya sean contaminantes físicos, químicos y/o biológicos.

5.3.1.1 Procesos físicos

Las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales Los principales procesos físicos son los siguientes: desbaste, dilaceración, evaporación, homogenización de caudales, mezclado, floculación, sedimentación, flotación y filtración (Gómez y Sallent, 2015).

5.3.1.2 Procesos químicos

Los procesos químicos son “todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos” (Muñoz, 2008. p. 137).

Los principales procesos químicos son los siguientes: precipitación química, transferencia de gases, separación de amoníaco mediante arrastre con aire, adsorción, desinfección, ozono, decloración, eliminación de sustancias inorgánicas disueltas, intercambio iónico, ósmosis inversa, ultrafiltración (López, 2017).

5.3.1.3 Procesos biológicos

Los procesos biológicos tienen como fin la “coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria, así como la estabilización de la materia orgánica” (Muñoz, 2008, p.148). Se consigue biológicamente utilizando una variedad de consorcios microbianos, principalmente de bacterias, aunque también se encuentran protozoos, hongos y algas.

Existen diversos procesos para el tratamiento de aguas residuales como son los procesos anaeróbicos, aeróbicos, de desnitrificación y nitrificación anóxica o anaerobia, microaerófilos, eliminación de la DBO₅ carbonosa, procesos de cultivos, entre otros (Delgado y Leyva 2019).

5.4 Planta de tratamiento de agua residual

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es una serie de operaciones con equipos específicos que conllevan procesos fisicoquímicos o biológicos, o bien la combinación de estos, buscando la mejor forma de tratar las aguas residuales, esto dependerá de una serie de factores característicos, tales como: el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, las posibilidades de reutilización de la misma, las posibilidades de vertido y las tasas de vertido (Da Cámara *et al.*, 2014), la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, la posibilidad económica de las distintas combinaciones y el impacto de la instalación (Rojas, 2002).

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es uno de los aspectos más desafiantes de la ingeniería ambiental, tanto como los conocimientos técnicos y experiencias prácticas son necesarios en la selección y análisis de los procesos de tratamiento (Rojas, 2002).

5.4.1 Tratamientos preliminares

Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento (Rojas, 2002).

Tabla 1. Procesos y objetivos de los tratamientos preliminares. Fuente: Ronces, 2018

Proceso	Objetivo
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre-aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

5.4.2 Tratamientos primarios

Ronces en el 2018 dice que el propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario consiste en, disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos y se remueve una fracción de los sólidos sedimentables y en suspensión por medios físicos y/o químicos. El Efluente del tratamiento primario suele tener una cantidad alta de materia orgánica y una DBO alta (Farías, 2016).

Tabla 2. Procesos y objetivos de los tratamientos primario. Fuente: Ronces, 2018.

Proceso	Objetivo
Tanques de sedimentación	Eliminación de sedimentos
Filtros percoladores	Convertir a los sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos a sedimentables con cultivos biológicos

5.4.3 Tratamientos secundarios

Este tratamiento depende principalmente de que se realice un proceso biológico de contacto, en el que los organismos aerobios y los sólidos orgánicos, se mezclan con un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables (Ronces, 2018).

Tabla 3. Procesos y objetivos de los tratamientos secundarios. Fuente: Ronces, 2018

Proceso	Objetivo
Lodos activados	A través de microorganismos, tienen la propiedad de absorber la materia orgánica
Lagunas de oxidación	Oxidan, estabilizan y auto depuran contaminantes por medio aerobio y anaerobio

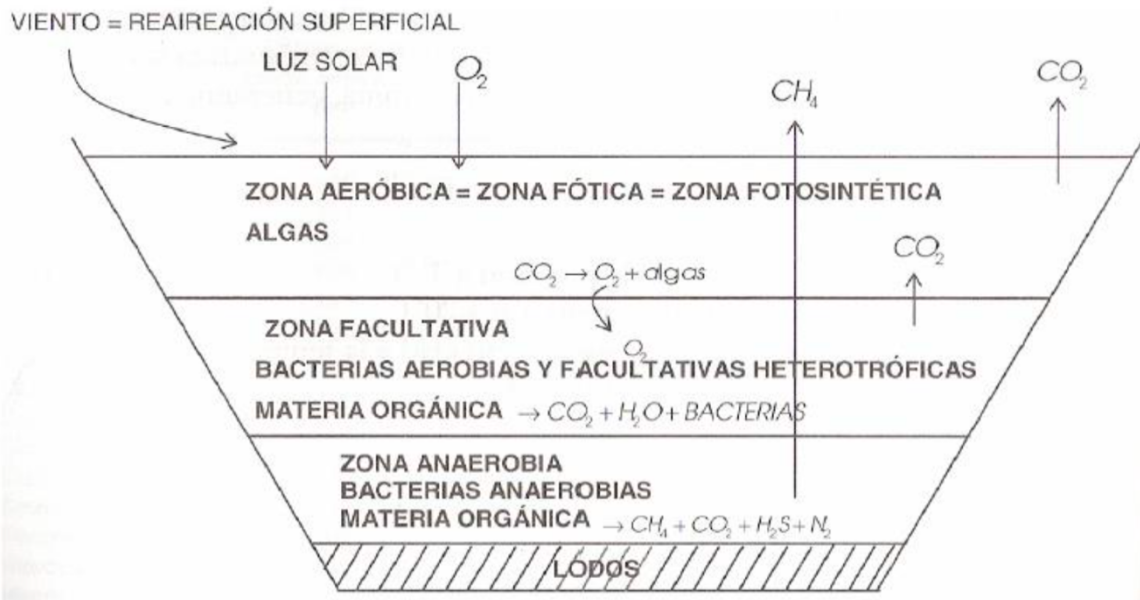


Imagen 1. Función de las lagunas de oxidación. Fuente: Rojas (2005)

5.4.4 Tratamientos terciarios

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriores y lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante (Rojas, 2002), las sustancias o compuestos comúnmente removidos son:

- Fosfatos y nitratos
- Huevos y quistes de parásitos
- Sustancias tóxicas activas
- Algas
- Bacterias y virus (desinfección)
- Sólidos totales y disueltos
- Temperatura

5.5 La acuicultura

La acuicultura hace referencia a todas las formas de cultivo de animales y plantas acuáticos en ambientes dulce acuícola, salobres y marinos al manejo y control de los recursos vivos que habitan en el agua, así como su cultivo bajo condiciones controladas hasta su cosecha, procesamiento, comercialización y consumo, esta práctica usa jaulas o estanques para su producción asimismo este cultivo requiere que los lugares donde se realice tengan unas características determinadas, que incluyen una buena calidad de aguas, ya que ésta incide en la producción y en la calidad del producto, lo que permitirá el desarrollo de la actividad acuicultura (Borja, 2011).

5.5.1 Impacto de las granjas acuícolas

A la hora de elaborar estrategias de adaptación o instalación para el sector es fundamental entender los factores de impactos ambientales y sociales, sus vías de impacto, su variabilidad y los riesgos que plantean (FAO, 2016). Han de adaptarse medidas en la producción para no degradar el medio ambiente y que a su vez sean técnicamente apropiadas, económicamente viables y socialmente aceptadas (Borja, 2011).

También Borja en el 2011 menciona que “los efectos adversos que puede tener este tipo de industria sobre el medio ambiente, han dado lugar a ciertas dudas sobre la idoneidad y continuidad de la acuicultura”. Pero la acuicultura tiene tanto impactos positivos como negativos, los positivos son más destacados en el ámbito socioeconómico ya que la demanda del consumo de los productos es alta dando lugar al desarrollo de mercados locales, empleo e infraestructuras. El fomento de la acuicultura como actividad productiva, es una vía para reducir la sobreexplotación pesquera, permite la diversificación de especies comerciales, el aumento de empleos en el medio rural, la generación de divisas y la producción de alimentos para mejorar la dieta (DOF, 24 de abril de 2018).

5.5.1.1 Impactos en el medio abiótico

La vía de impacto en el agua es el más prominente ya que este es su medio de cultivo en donde se pueden presentar problemas como: la disminución de la concentración de oxígeno por el incremento de su demanda, al aumento de la proliferación de algas nocivas (Alcamao *et al.*, 2007), la producción de sedimentos anóxicos y de gases tóxicos. Los malos olores por una mala aireación y control del caudal para evitar estancamiento de aguas es otro impacto negativo que es formidable. Como la acuicultura está más concentrada, con una densidad más alta de granjas por unidad de área, el propio lugar donde se realice la actividad puede provocar alteraciones. Por ejemplo, en la ubicación en tierra se puede dar salinización de suelos o acuíferos, acidificación de suelos y cambios en ellos (Borja, 2011).

5.5.1.2 Impactos en el medio biótico

El uso indiscriminado de fármacos (antibióticos para controlar o prevenir enfermedades de los peces en granjas y hormonas para el crecimiento) menciona Borjas (2011) que ha dado como resultado cambios cualitativos y cuantitativos en la flora microbiana, efectos tóxicos en los organismos salvajes, alteraciones en la biodiversidad, incidencia en las cadenas tróficas, desarrollo de defensas antibacterianas en patógenos de los peces y transferencia de resistencia antibacteriana a patógenos humanos, mayor frecuencia de enfermedades y

episodios de toxicidad. Habida cuenta de que las enfermedades de los peces provocan con frecuencia importantes pérdidas en la acuicultura, una gestión de la salud de los peces y bioseguridad adecuadas son esenciales para la resiliencia del sector. Otro tipo de agentes químicos, como los pesticidas, son también contaminantes para el medio y pueden alterar gravemente el ecosistema al resultar tóxicos para la vida marina y la especie cultivada, lo cual, a través de su consumo, puede convertirse en un peligro para la salud humana. Un problema más que se plantea en ciertas regiones es la introducción de especies alóctonas para su cultivo, lo que se traduce en un empobrecimiento de la biodiversidad del ecosistema marino debido a la competencia e hibridación y alteraciones en las cadenas tróficas.

5.5.2 Normatividad para la acuicultura

Aunque son pocos los países que cuentan con políticas y marcos favorables para desarrollar y fomentar la acuicultura, en México sí ha habido un gran interés por parte de las autoridades públicas en adoptar políticas integradas para establecer los correspondientes marcos jurídicos. El proceso legislativo de la acuicultura es prácticamente reciente, ya que como se ha visto, sólo se habían regulado las concesiones y permisos para uso de agua y cultivo de ciertas especies, principalmente de agua marina o salobre, sin que tuviera un marco jurídico específico (Krauss, 2019).

La LGEEPA mandata a la SEMARNAT que los establecimientos de viveros, criaderos y reservas de flora y fauna acuática pueden causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría. Por lo anterior, los proyectos acuícolas deben realizar un estudio de impacto ambiental. La SEMARNAT emite una autorización en materia de impacto ambiental en la que determina las condiciones a las que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones

establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas.

Hoy en día la máxima disposición que regula la actividad pesquera y acuícola es la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS). Para ejecutar la pesca comercial y/o la acuicultura en aguas de jurisdicción nacional, es necesaria una concesión o un permiso que confiere la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Éste es un órgano administrativo del Poder Ejecutivo del gobierno mexicano que en el 2019 se denominó Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

La protección al ambiente es una obligación de todos los agentes productivos, tanto para la acuicultura, la agricultura y la ganadería, es importante señalar que la acuicultura tiene, en general, descargas menos contaminantes que las correspondientes a otras actividades primarias (Reyes *et al.*, 2015). Por razones de equidad esto se debe cumplir. La LGEEPA contempla de manera general que cualquier actividad susceptible de contaminar el medio ambiente con sus descargas debe realizar un tratamiento de estos desechos. La naturaleza semejante de la acuicultura, de la agricultura y de la ganadería conduce a requerir a esas actividades la realización de un tratamiento de sus aguas residuales para alcanzar los mismos estándares de calidad antes de ser vertidos a corrientes o drenajes.

La ley de aguas nacionales Las referencias a la acuicultura son muy escasas y se reducen a las menciones que hace en el artículo 82 y en el artículo décimo quinto transitorio. Respecto al uso de cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, el artículo 276 señala que están obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, las personas que descarguen aguas residuales en cauces y otros depósitos o corrientes de agua. El monto a pagar se determinará aplicando al volumen descargado la cuota por metro cúbico, que para la actividad acuícola va de 4.39 hasta 9.70 pesos según el tipo de cuerpo receptor. Aun así, La Ley determina que no estarán obligados al pago de este derecho los contribuyentes cuya descarga de aguas residuales no rebase los límites

máximos permisibles establecidos según el cuerpo receptor. Para ello se deberá medir el volumen y la calidad del agua. También en su artículo 82 menciona que las actividades de acuicultura efectuadas en sistemas suspendidos en aguas nacionales no requerirán de concesión, en tanto no se desvíen los cauces y siempre que no se afecten la calidad de agua, la navegación, otros usos permitidos y los derechos de terceros. De acuerdo a lo dispuesto con la Comisión Nacional del Agua menciona que para el otorgamiento de una concesión o asignación se sujetará a lo dispuesto por la LAN y su reglamento y tomará en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años, conforme a la programación hídrica; los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua inscritos en el registro Público de Derechos de Agua.

5.5.3 PTAR en las granjas acuícolas

La incertidumbre en el suministro de agua dulce y el cambio de su composición natural deja mucho que desear en las granjas acuícolas ya que la calidad del agua se ve modificada, aunque sea en lo mínimo, es por ellos que las plantas de tratamiento no son la excepción para la acuicultura. Para la instalación de una PTAR es de suma importancia la ubicación física de las instalaciones acuícolas ya que es uno de los determinantes más importantes por la exposición y, por tanto, de la vulnerabilidad. Hay que hacer notar la importancia que determinados eventos pueden tener localmente, por ejemplo, escorrentías o avenidas de ríos cercanos, por lo que es necesario disponer de datos históricos. Para tener buena renovación de las aguas se deben controlar las siguientes variables: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos en suspensión y contaminantes (Borja, 2011), también la corriente en la zona debe ser suficiente para evitar que las acumulaciones de productos de desecho (heces y restos de comida) generen desoxigenación del agua. La corriente debe favorecer la dispersión, difusión y mezcla de los residuos, evitando para la actividad lugares muy cerrados o malos olores, control del caudal para evitar estancamientos, así como la mejor integración de la acuicultura con la agricultura. También la construcción de la planta debería tener un buen terreno, arcillosos para evitar la filtración del agua.

Según Obregón menciona en el 2006 que para tratar las efluentes es necesario que todas las aguas residuales de acuicultura o de toda la granja lleguen a un estanque de oxidación, donde el agua debe ser retenida mínimo 6 horas para así se remover 55% del fósforo total y casi el 100% de la DBO₅, la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), las efluentes hace que se incrementen la DBO₅, normalmente las efluentes llegan a las fuentes hídricas causando un incremento de la DBO₅ que es el consumo de oxígeno hecho por los organismos y sustancias orgánicas, además las efluentes son muy cargadas en materia orgánica causando un incremento en la temperatura, y creando un medio propicio para patógenos, lo ideal es que una granja acuícola tenga de dos a tres estanques de oxidación, si el tratamiento de la efluente se va a hacer con bacterias, el primer estanque debe tener bacterias anaeróbicas, el segundo bacterias aeróbicas, también se puede hacer fitorremediación que es el tratamiento de las efluentes con plantas, Obregón (2006) aconseja hacer alguna de las dos remediación y que es lo ideal que toda granja acuícola debería hacer, después de la remediación la agua puede volver a ser usada o dejar que llegue a una fuente hídrica.

Existen diferentes técnicas de utilización de plantas de tratamiento según Bacaicoa (2016), como por ejemplo los sistemas de baja carga, que a día de hoy es el más común y contempla la aplicación directa del agua residual sobre un terreno con vegetación, también existe el sistema de infiltración rápida que conlleva algún tipo de pretratamiento del agua antes de ser aportada y que se distribuye bien directamente al terreno, bien mediante aspersion. Otros sistemas utilizados son los denominados terrenos pantanosos, se trata de terrenos inundados con profundidades normalmente inferiores a 0,6 m con plantas emergentes como juncos, espadañas y aneas. Por último, existen los terrenos pantanosos artificiales que se diferencian de los anteriores en que no vierten sus residuos a ecosistemas naturales, como en los casos anteriores.

Los ya mencionados sistemas de tratamiento son los que encajan perfectamente en la práctica de la acuicultura según los autores Obregón (2006) y Bacaicoa (2016) pero el aporte de agua puede ser precedido de algún pretratamiento previo, como

una eliminación previa de sólidos mediante tanques de oxidación o filtros de tambor, o un aporte de oxígeno en su fase final para garantizar la calidad de agua para reutilizar o para descargar.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales convencional para una granja acuícola.

6.2 Objetivos específicos

- Simular el sistema para observar la eficiencia de la PTAR.
- Verificar el cumplimiento del diseño de la PTAR convencional basada en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

VII. HIPÓTESIS

Se espera que el diseño de la planta de tratamiento de aguas para una granja acuícola sea eficiente, funcional basado en diseños de diferentes autores en pretratamientos y tratamientos primarios, también se espera que tenga una reducción de contaminantes significativas y aceptables ante la NOM-003-SEMARNAT-1997 con una reducción del 75% de contaminantes básicos.

VIII. METODOLOGÍA

Para el diseño de la PTAR convencional se seleccionó una granja acuícola en Chiapas, México de *Oreochromis Niloticus* que se encuentra en operación, dicha granja tiene 4.5 hectáreas, cuenta con 60 piletas divididas en distintas áreas estratégicamente según su función, 20 piletas para reproducción ,18 piletas de crianza y por último 22 piletas para alevinaje, esto para detallar una buena planta

de tratamiento que sea conveniente para los contaminantes a tratar con gastos económicos menores (Anexo 1).

Posteriormente para el diseño del sistema de tratamiento se utilizó el programa AutoCAD versión 2022, donde la construcción de este proceso implica la selección, descapote y la distribución del terreno, seguido de la excavación según las medidas establecidas por el acuicultor, se colocarán las tuberías y luego se hará la preparación de la planta. La adaptación del sistema es muy importante debido a que hay que adecuar la planta a una serie de condiciones estables para el cultivo dado.

A continuación se creó una simulación del diseño de la planta para ver la cantidad de remoción de contaminantes básicos, los datos fueron tomados de un análisis de aguas naturales de tres puntos diferentes del área cerca de la granja, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, el sistema de simulación manejado es el programa GPS-X 8.0, dicho programa no necesita algún tipo de calibración ya que al ser un software de simulación, todos los datos, parámetros y características se programan como las medidas de los contenedores, las temperaturas ambientales y del agua, presión atmosférica, humedad y los contaminantes físicos, químicos y biológicos.

Tabla 4. Resultados de análisis de aguas naturales

	Referencia	Resultado	
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001	Ojo de Agua	55
		Pozo	61
		Río	68
Demanda química de oxígeno (DQO) mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011	Ojo de Agua	6
		Pozo	13
		Río	23

pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	Ojo de Agua	7.25
		Pozo	6.88
		Río	7.25
Turbiedad (NTU)	NMX-AA-038-SCFI-2001	Ojo de Agua	1.15
		Pozo	0.59
		Río	1.11
Alcalinidad (mg de CaCO ₃ /L)	NMX-AA-036-SCFI-2001	Ojo de Agua	217
		Pozo	175
		Río	198
Color (mg PtCo/L)	NMX-AA-045-SCFI-2001	Ojo de Agua	1
		Pozo	1
		Río	13
Oxígeno disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Ojo de Agua	2.96
		Pozo	5
		Río	6.70
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	Ojo de Agua	2.43
		Pozo	2.40
		Río	48.5
Cloruros (mg/L Cl/L)	Método argenomérico 4500-Cl B. Métodos estandarizados	Ojo de Agua	27.54
		Pozo	30.51
		Río	25.31
Dureza Total (mg CaCo ₃ /L)	Método titulométrico 2340 métodos estandarizados	Ojo de Agua	0
		Pozo	0
		Río	252
Sólidos sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2013	Ojo de Agua	0
		Pozo	0
		Río	0

Sólidos suspendidos totales (mg/L)	NMX-AA-004-SCFI-2013	Ojo de Agua	3
		Pozo	0
		Río	0
Sólidos totales (mg/L)	NMX-AA-004-SCFI-2013	Ojo de Agua	886
		Pozo	922
		Río	198
Sólidos volátiles totales (mg/L)	NMX-AA-004-SCFI-2013	Ojo de Agua	273
		Pozo	313
		Río	70
Sólidos disueltos totales (mg/L)	NMX-AA-004-SCFI-2013	Ojo de Agua	886
		Pozo	922
		Río	198
Coliformes totales (UFC)	NMX-AA-102-SCFI-2006	Ojo de Agua	>200
		Pozo	184
		Río	>200
Coliformes fecales (UFC)	NMX-AA-102-SCFI-2006	Ojo de Agua	0
		Pozo	0
		Río	6

Se realizó un análisis de los parámetros de pH, temperatura, C.E. y Oxígeno Disuelto con un multiparamétrico de las aguas de los estanques de la granja acuícola obteniendo los siguientes resultados (Tabla 5):

Tabla 5. Resultados de parámetros del agua de estanque de la granja acuícola. Fuente: creación propia

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	-	6.70
Temperatura	°C	26
C.E.	μS/cm	1790
O.D.	mg/L	5.5
Saturación de Oxígeno	%	73

Por último, se verificó la eficiencia de la PTAR convencional comparando los datos del efluente con los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales de la NOM-003-SEMARNAT-1997.

IX. RESULTADOS OBTENIDOS

El aspecto y dimensiones del terreno de la granja a la cual se realizó el diseño se presentan en la Imagen 2.



Imagen 2. Ubicación y dimensión de la granja acuícola. Fuente: Google Earth, 2022

Para adaptar la propuesta del tratamiento de aguas residuales en la zona donde se encuentra la granja acuícola se obtuvo mediante el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) donde se menciona que en la zona hay abundante disponibilidad de recurso hídrico tanto subterráneos como superficial, la granja se encuentra en un municipio que está a 460 m.s.n.m. nos proyecta que la precipitación anual para el año del 2019 es de 956 mm y la temperatura media anual es de 24.4° C, según el plan de desarrollo municipal (PDMS, 2019).

La porción de la cantidad del agua para riego o descarga fueron datos proporcionados por los administrativos de la granja según su uso y cantidad por temporadas de las aguas y será distribuida de la siguiente manera (Tabla 6):

Tabla 6. Porciones de las aguas según su uso en la granja acuícola. Fuente: Administrativos de la granja acuícola.

Área	Cantidad de agua	Tiempo
1	4,800 m ³	Cada 7 días
2	4,320 m ³	Cada 14 días
3	528 m ³	Cada 30 días

$$\frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{tiempo}} = \text{caudal diario (m}^3/\text{d)} \quad (1)$$

$$\left(\frac{4800}{7}\right) = 685.71 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (2)$$

$$\left(\frac{4320}{14}\right) = 308.57 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (3)$$

$$\left(\frac{528}{30}\right) = 17.6 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (4)$$

La planta de tratamiento se propone ser de un tipo convencional y consta con dos depósitos que funcionan como filtros y dos lagunas de oxidación (Imagen 3) como lo propone Obregón en el 2006.

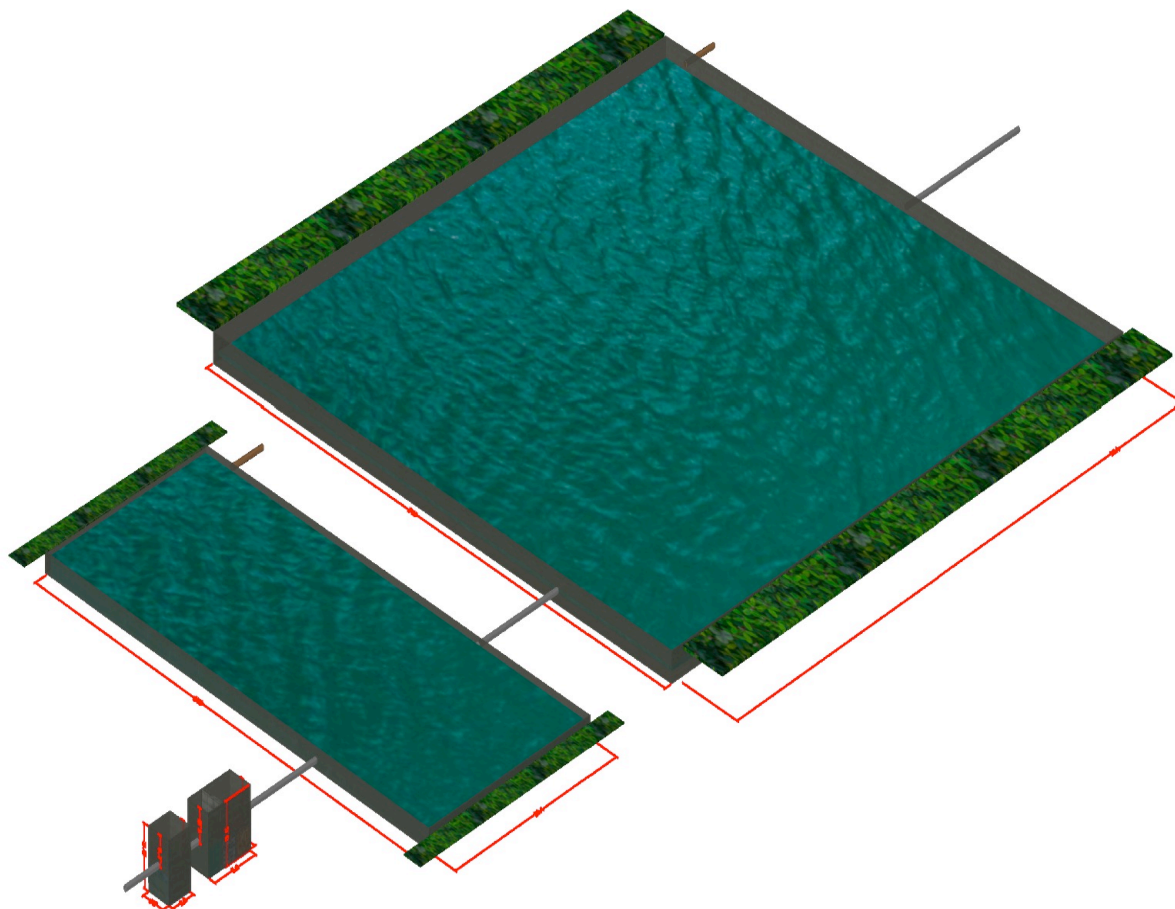


Imagen 3. Diseño de PTAR convencional para una granja acuícola. Fuente: Creación propia.

El primer depósito (Imagen 4) tiene las dimensiones de 2.5 x 2.5 x 3.6 m en volumen 22.5 m³ construido en concreto esto para evitar filtraciones del agua al suelo, con una tapa a nivel del suelo por seguridad y para el mantenimiento y limpieza de este primer depósito, para la entrada y salida de las aguas se utilizó tubos tipo PVC de 8 In, la tubería del efluente se encontrará a 20 cm por debajo de la tubería de entrada de agua que esta estará a 1.60 cm debajo del suelo, al igual cuenta con una rejilla de metal que no sobrepase los 2 mm de abertura (Imagen 5).

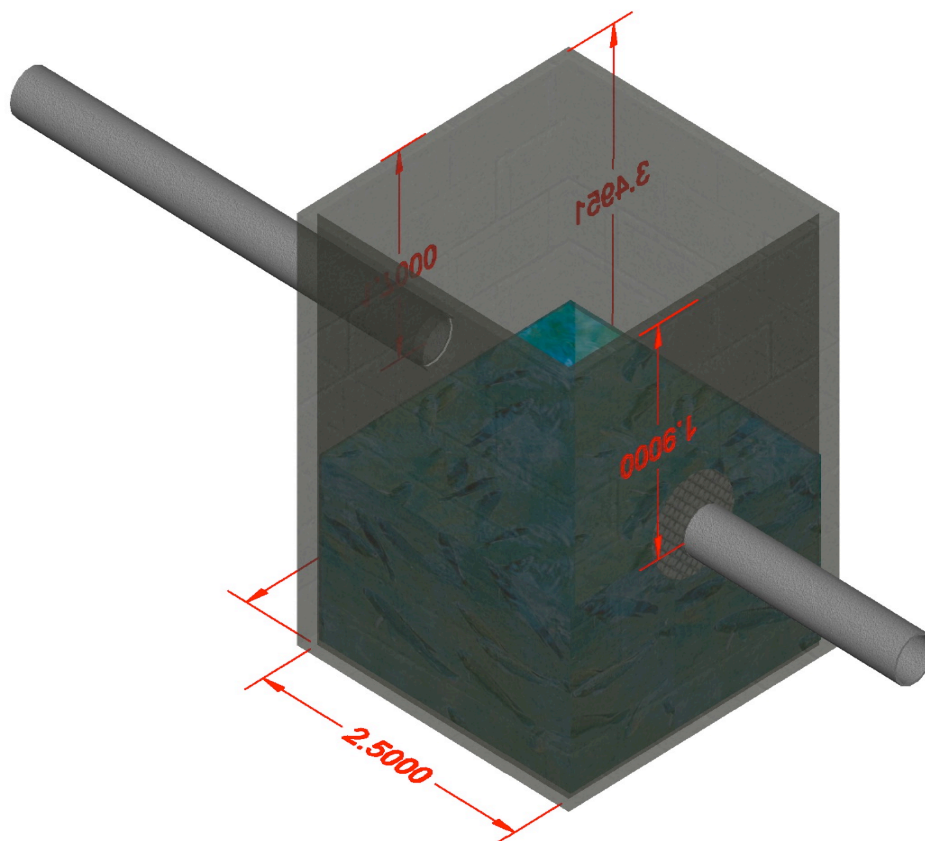


Imagen 4. 1er estanque de retención de alevines vista SE. Fuente: creación propia.

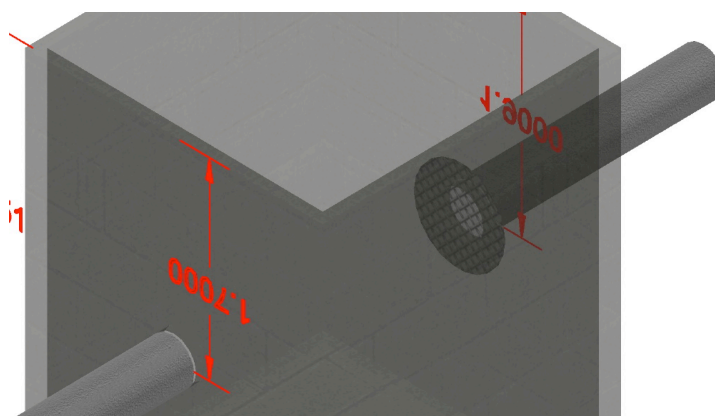


Imagen 5. 1er estanque de retención de alevines vista hacia la red. Fuente: creación propia.

El segundo estanque (Imagen 6) tiene dimensiones de 2.5 x 5 x 3.6 m. con un volumen de 45 m³, la primera trampilla posee una rejilla de metal en el afluente, considerando las dimensiones de las áreas divididas de este segundo estanque va

reduciendo su volumen, en el primer deposito tiene un volumen de 9.2 m^3 ($2.5 \times 2.3 \times 1.6 \text{ m.}$) el segundo y tercer estanque contemplando que la piedra partida y el ladrillo triturado ocupa un volumen de 4.5 m^3 por cada zona (quitando el 10% de factor de desperdicio como lo menciona Moeen) y que todas tienen una dimensión de $\frac{1}{2}$ " se ocupa 8.01 t de piedras para llenar el área restando eso nos queda un volumen de 0.5 m^3 por área, estos estanques cuentan con tapas en la parte superior por seguridad, mantenimiento y limpieza de los estanques. Este pretratamiento tiene como función la retención de grasas, aceites, sólidos y organismos.

En la Imagen 6 se colocó otra rejilla en la entrada del segundo sistema para la prevención que ningún alevín cruce, se colocaron dos paredes de concreto a 1.25 m cada una, la primera pared de contención tiene el paso de agua en la parte inferior con 20 cm de abertura y el segundo muro tiene en su centro un paso de tubos PVC que servirán para sostener y separar las piedras de los ladrillos y así puedan retener sólidos, algas y microalgas, ya que algunos tipos de especies de algas liberan toxinas que contaminan y estas pueden producir olores fuertes de descomposición y pudrición al agua y al ambiente.

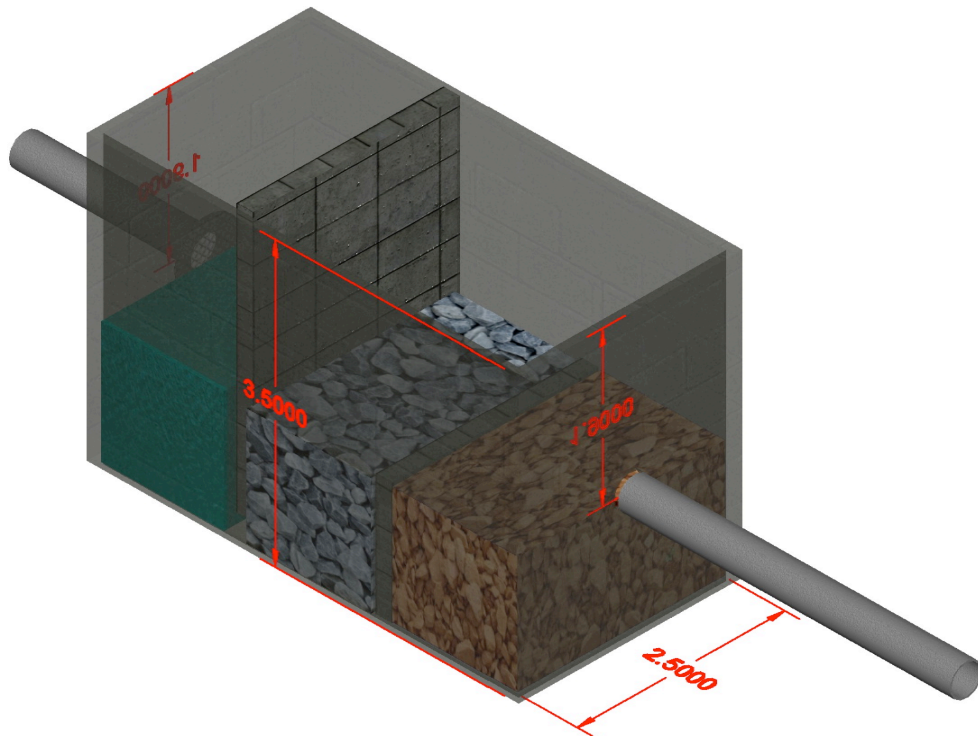


Imagen 6. 2do estanque de tipo convencional con rocas y ladrillos vista SE. Fuente: creación propia.

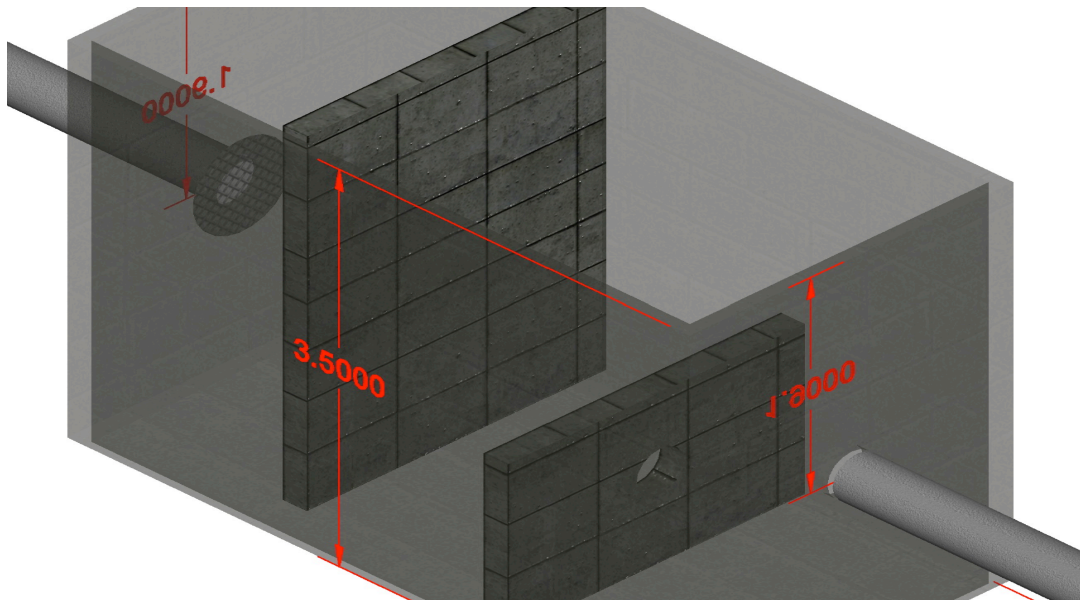


Imagen 7. 2do estanque de tipo convencional vista SE aumentada. Fuente: creación propia.

Las dos lagunas de oxidación (Imagen 8) tendrán las siguientes medidas; la primera de 20 x 50 x 2 m es decir con un volumen de 2,000 m³, posteriormente las aguas pasarán por la segunda laguna de oxidación con dimensiones de 60 x 60 x 2 m con un volumen de 7,200 m³. En general el tiempo de retención es de 5 a 30 días con profundidades de 1.5 a 2, m así lo menciona Andrade y David (2020). Se asumió un TRH para las lagunas de 7 días. Se acomodarán estratégicamente alrededor algunas especies como lirios (*Eichhornia Crassipes*) Lenteja de agua (*Lemna Minor*) y Alcatraces o Cartuchos (*Zantedeschia Aethiopica*).

$$Qd = \frac{V}{TRH} \quad (5)$$

$$V = TRH (Qd)$$

$$V = 7 d (1,100.88 m^3 / d)$$

$$V = 7,083.16 m^3 \quad (6)$$

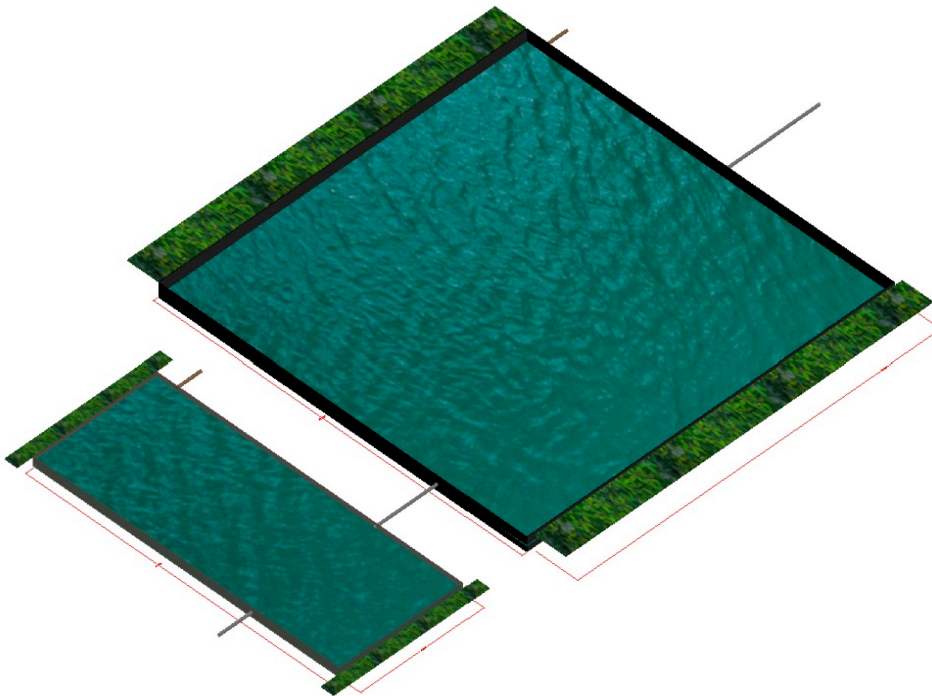


Imagen 8. Lagunas de oxidación para la PTAR de una granja acuícola. Fuente: creación propia.

Según los resultados de análisis de las aguas y la propuesta de la PTAR donde, el caudal, los tipos de tratamientos y los parámetros a remover fueron puestos a prueba en la simulación de la remoción de los contaminantes básicos en el programa GPS-X 8.0. Los resultados de análisis que se tomaron en cuenta para la simulación fueron las del río porque es ahí donde recibe la descarga de las aguas.

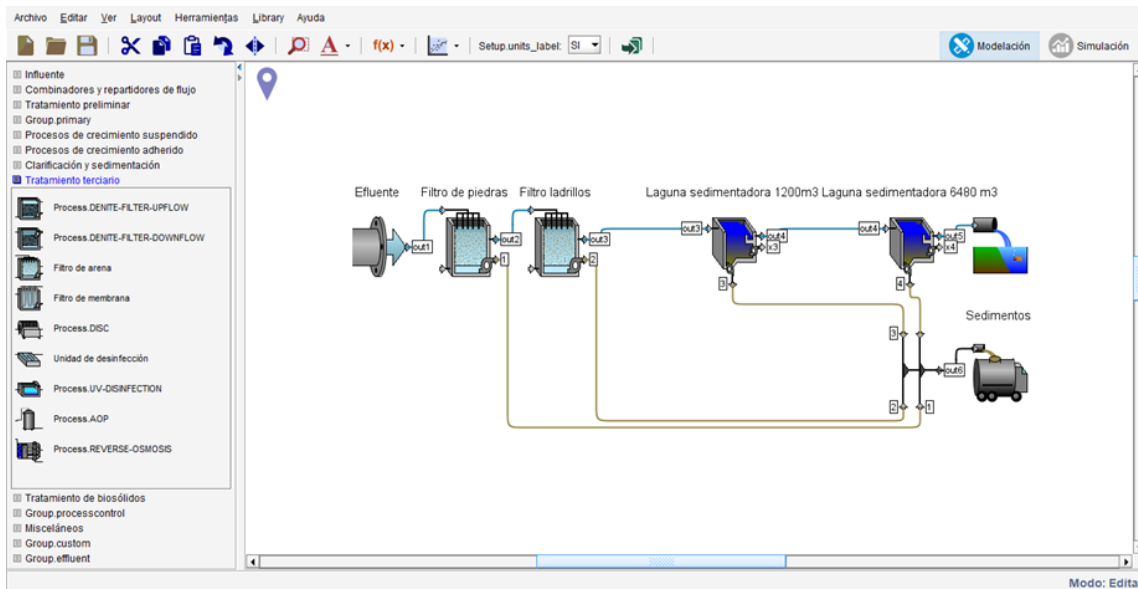


Imagen 9. Diseño de la planta en el software de simulación GPS-X 8.0

Para determinar la eficiencia se toma en cuenta la concentración inicial y la concentración final en cada uno de los parámetros en análisis y se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{concentración inicial} - \text{concentración final}}{\text{concentración inicial}} * 100$$

Se obtuvo una remoción de estos datos de las 3 diferentes áreas con diferentes caudales, pero tomando en cuenta los mismos valores de los parámetros analizados para descargar o reutilizar el agua.

Tabla 7. Resultados de GPS-X 8.0 en la simulación con flujos y días diferentes

Parámetro	Unidad	Influyente 1	Efluente 7 días	Remoción (%)	Influyente 2	Efluente 14 días	Remoción (%)	Influyente 3	Efluente 30 días	Remoción (%)
Flujo	m3/d	685.71	4,800	/	308.57	4,320	/	17.6	528	/
SST	mg/L	/	/	/	/	/	/	/	/	/
VSS	mg/L	70	20	71.4	70	15	78.6	70	30	57.1
BOD5	mgO2/L	68	20	70.6	68	20	70.6	68	20	70.6
DQO	mgCOD/L	23	50	-117.4	23	40	-73.9	23	30	-30.4
Oxígeno disuelto	mgO2/L	6.7	2	/	6.7	1.7	/	6.7	1.5	/
pH	/	7.25	7.1	/	7.25	7	/	7.25	7.5	/
Temperatura	C	26	22	/	26	22	/	26	30	/

Tabla 8. Comparación de resultados de la simulación con los límites máximos permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1996

Parámetro	Unidad	Efluente 7 días	Efluente 14 días	Efluente 30 días	Límite máximo permisible
Flujo	m3/d	4,800	4,320	528	/
SST	mg/L	50	30	70	150
VSS	mg/L	20	15	30	/
BOD5	mgO2/L	20	20	20	150
DQO	mgCOD/L	50	40	30	/
Oxígeno disuelto	mgO2/L	2	1.7	1.5	/
PH	/	7.1	7	7.5	/
Temperatura	C	22	22	30	/

X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El diseño de la planta se basó en diferentes autores pero las dimensiones se establecieron según la capacidad de la granja, los materiales dependerán mucho de la disponibilidad de ellos, pero en cuestiones de diseño en la primera etapa donde se encuentra el primer efluente se optó por rejillas, esto para evitar que los alevines, huevos y larvas de la tilapia (*Oreochromis Niloticus*) pasen a la segunda trampilla, pues, Meyer en el 2007 menciona que los huevos de la tilapia miden aproximadamente 2 mm (Imagen 10), las larvas miden 7 mm (Imagen 11) y los alevines miden de 10 a 12 mm de longitud total (Imagen 12). Las especies que se escapan de los sistemas de cultivos pueden convertirse en invasoras en las áreas donde hay especies nativas causando mortalidad alteraciones genéticas y/o la transferencia de enfermedades y parásitos (Sosa et al., 2012).

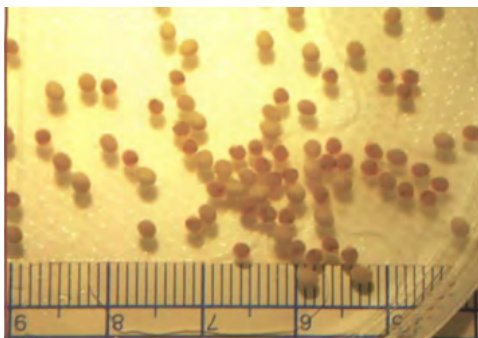


Imagen 10. Huevos de Oreochromis Niloticus en su desarrollo embrionario. Fuente: Meyer, 2007.

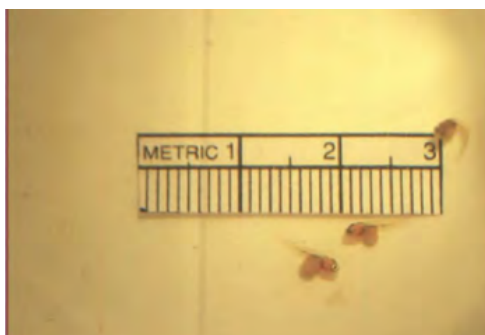


Imagen 11. Peces-larva de Oreochromis Niloticus. Fuente: Meyer, 2007.



Imagen 12. Alevines Oreochromis Niloticus. Fuente: Meyer, 2007.

El ladrillo es un material inerte que presenta poca o nula reacción con la mayoría de los componentes comunes, está conformado por un 80% de arcilla. Químicamente la arcilla está compuesta por 45% a 70% de sílice, 10% a 40% de alúmina y 10% a 20% de agua. Ha sido estudiada la utilización de arcillas naturales y modificadas para adsorber contaminantes orgánicos de las aguas (Jijón, 2018). El autor Jijón (2018) realizó una investigación donde obtuvo una remoción del 80% de DQO,

DBO5, grasas y aceites. Y Moya (2018) tuvo remoción del 50% de DQO, DBO5 y ST, ambos usando ladrillos triturados como filtros de pretratamiento.

Se colocan estratégicamente alrededor algunas especies de flora como lo sugiere Sarango y Sánchez (2016), estas plantas ayudan como biofiltros para remover, estabilizar y evitar filtraciones al suelo del agua que se encuentran en las lagunas. Como se aprecia en la Imagen 2 alrededor de la granja acuícola hay 11 parcelas de cultivos a los cuales se les dará el agua tratada para ser reutilizada por los pobladores de la región para riego de algunos cultivos. Los datos dados por administrativos de la granja fueron en caudales cada 7, 14 y 30 días para obtener un caudal diario se utilizó la Ecuación 1 y se obtuvo un caudal diario para el área 1 de 685.71 m³/d (Ecuación 2), de área 2 es de 308.57 m³/d (Ecuación 3), la Ecuación 4 muestra el caudal del área 3, 17.6 m³/d en total el caudal si fuera diario sería de 1,11.88 m³/d. El desfogue de las piletas se realizan según las porciones de agua y el cambio de agua y para el TRH en las lagunas basados en la metodología de David (2020), el primer sector A1 (reproducción) será cada 7 días, sector A2 (crianza) cada 14 días y el sector A3 (alevinaje) cada 28 días, es decir que el día 7 las lagunas recibirán 4,800 m³, El día 14 lo del A1 y A2 9,120 m³, el día 21 únicamente lo del A1 (4,800 m³) y el día 28 9,628m³, respetando lo mencionado por David (2020) y su investigación sobre el tiempo de retención según las dimensiones de las lagunas de oxidación, también la metodología empleada tiene como finalidad almacenar 11,000m³ de agua que las lagunas in embargo no tienen que sobrepasar su capacidad máxima de almacenamiento, en cada laguna se tendrán ductos de emergencia, previniendo cualquier eventualidad y tomando en cuenta la seguridad de los operadores.

El alimento no consumido es convertido por acción de las bacterias en diferentes sustancias que se disuelven en el agua, se generan nutrientes que se obtienen por acción de los microorganismos y que son utilizados por el fitoplancton que a su vez produce oxígeno en la fotosíntesis y lo consume durante la respiración y finalmente cuando muere se convierte en materia orgánica muerta la cuál nuevamente es atacada por los microorganismos, por lo que la mayor parte de la materia orgánica

y nutrientes son sedimentados en el fondo del estanque y finalmente las partículas suspendidas son drenadas a las fuentes de descargas (Rodríguez y Anzola, 2001).

Los lodos que sedimentan en la laguna deben ser removidos una vez cada 2 a 4 años para evitar, la formación de capas anaerobias

Los autores Carrasco *et al.* (2005) Realizaron análisis de la concentración promedio de parámetros del efluente de una cosecha de Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) en Ecuador los resultados se muestran en la Tabla 9, aunque en comparación los análisis de agua son más amplios, y sus remociones son de alrededor de 45% y 80% de sus contaminantes, encontrándose el diseño de la planta en un rango similar de remociones de contaminantes básicos.

Tabla 9. Resultados de parámetros del agua efluente del estanque de una granja acuícola que cosecha *Oreochromis Niloticus*. Fuente: Carrasco *et al.* (2005)

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	-	7.65
Temperatura	°C	19
O.D.	mg/l	1.57
SST	mg/l	8660
SSV	mg/l	102
STV	mg/l	3351
Sólidos Totales	mg/l	7078
DBO ₅	mg/l	407.5
DQO	mg/l	623.68
Nitritos	mg/l	0.3
Nitratos	mg/l	1.2
Fosfato	mg/l	0.47
Fósforo Total	mg/l	0.75

XI. CONCLUSIONES

- La necesidad de un nuevo enfoque de las prioridades de los productores y que los usuarios y los responsables del desarrollo acuícola se informen mejor de los beneficios de tratar las aguas residuales apoyaría a reducir la contaminación de los medios abióticos y la extinción de los medios bióticos, viendo por la aprobación social y el cuidado económico para los acuicultores.
- La remoción de contaminantes no necesariamente necesita de químicos y grandes obras de construcción, existen muchos métodos para tratar las aguas sin gastos constantes y de gran inversión, esto claro depende del tamaño de la granja acuícola
- Un análisis más extenso de las aguas acuícolas para que estos aspectos ayuden a buscar una mejor solución para tratar las aguas y observar aún más la eficiencia de una planta de tratamientos.
- Los lodos se pueden aprovechar para el abono de plantas y cultivos agrícolas, o para echarla al cultivo de lombriz de tierra con fines de producir humus.

XIII. ANEXOS

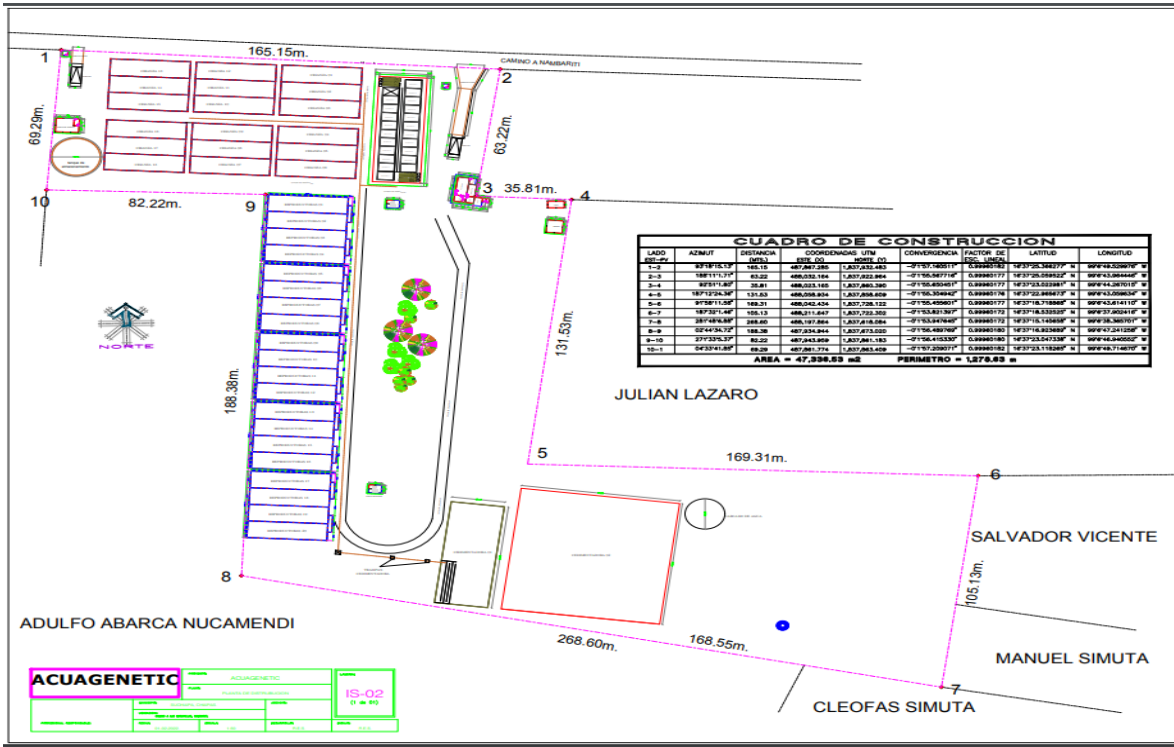


Imagen 13. Planos de la granja acuícola



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 17 de julio del 2021.

A quien corresponda.

Tengo a bien presentarle los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de aguas naturales solicitadas.

PARAMETRO	REFERENCIA	RESULTADO	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001	Ojo de agua	55
		Pozo	61
		Río	68
Demanda química de oxígeno (DQO) mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011	Ojo de agua	6
		Pozo	13
		Río	23
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	Ojo de agua	7.25
		Pozo	6.88
		Río	7.25
Turbiedad (NTU)	NMX-AA-038-SCFI-2001	Ojo de agua	1.15
		Pozo	0.59
		Río	1.11
Alcalinidad (mg de CaCO ₃ /L)	NMX-AA-036-SCFI-2001	Ojo de agua	217
		Pozo	175
		Río	198
Color (mg PtCo/L)	NMX-AA-045-SCFI-2001	Ojo de agua	1
		Pozo	1
		Río	13
Oxígeno disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Ojo de agua	2.96
		Pozo	5
		Río	6.70
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	Ojo de agua	2.43
		Pozo	2.40
		Río	48.5
Cloruros (mg Cl/L)*	MÉTODO ARGENTOMÉTRICO. 4500-Cl B. METODOS ESTANDARIZADOS	Ojo de agua	27.54
		Pozo	30.51
		Río	25.31
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)*	MÉTODO EDTA TITULOMÉTRICO 2340 MÉTODOS ESTANDARIZADOS	Ojo de agua	0
		Pozo	0
		Río	252
Sólidos sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2013	Ojo de agua	0
		Pozo	0



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

		Río	0
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Ojo de agua	3
		Pozo	0
		Río	0
Sólidos Totales (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Ojo de agua	886
		Pozo	922
		Río	198
Sólidos volátiles Totales (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Ojo de agua	273
		Pozo	313
		Río	70
Sólidos disueltos totales(mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Ojo de agua	883
		Pozo	922
		Río	198
Coliformes totales (UFC)	NMX-AA-102-SCFI-2006	Ojo de agua	>200
		Pozo	184
		Río	>200
Coliformes fecales (UFC)	NMX-AA-102-SCFI-2006	Ojo de agua	0
		Pozo	0
		Río	6

Agradecemos su solicitud, quedamos a sus órdenes para cualquier aclaración.
ATENTAMENTE

Magaly González Hilerio
 Técnico de laboratorio de Ingeniería Ambiental.

Imagen 14. Análisis de laboratorio de aguas naturales

Tabla 10. Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Fuente: NMX-AA D.O. (1997)

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos								
Tipo de cuerpo receptor	Ríos				Embalses naturales y artificiales		Suelo	
	Uso en riego agrícola		Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso en riego agrícola	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.

Temperatura (°C)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	N.A.	N.A.
Grasas y Aceite (mg/l)	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (mg/l)	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	150	200	40	60	75	125	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	150	200	30	60	75	150	N.A.	N.A.
Nitrógeno Total (mg/l)	40	60	15	25	40	60	N.A.	N.A.
Fósforo Total (mg/l)	20	30	5	10	20	30	N.A.	N.A.

Tabla 11. Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Fuente: NMX-AA D.O. (1997)

Límites máximos permisibles de contaminantes					
Tipo de reúso	Promedio Mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	≥ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	≤ 5	15	30	30

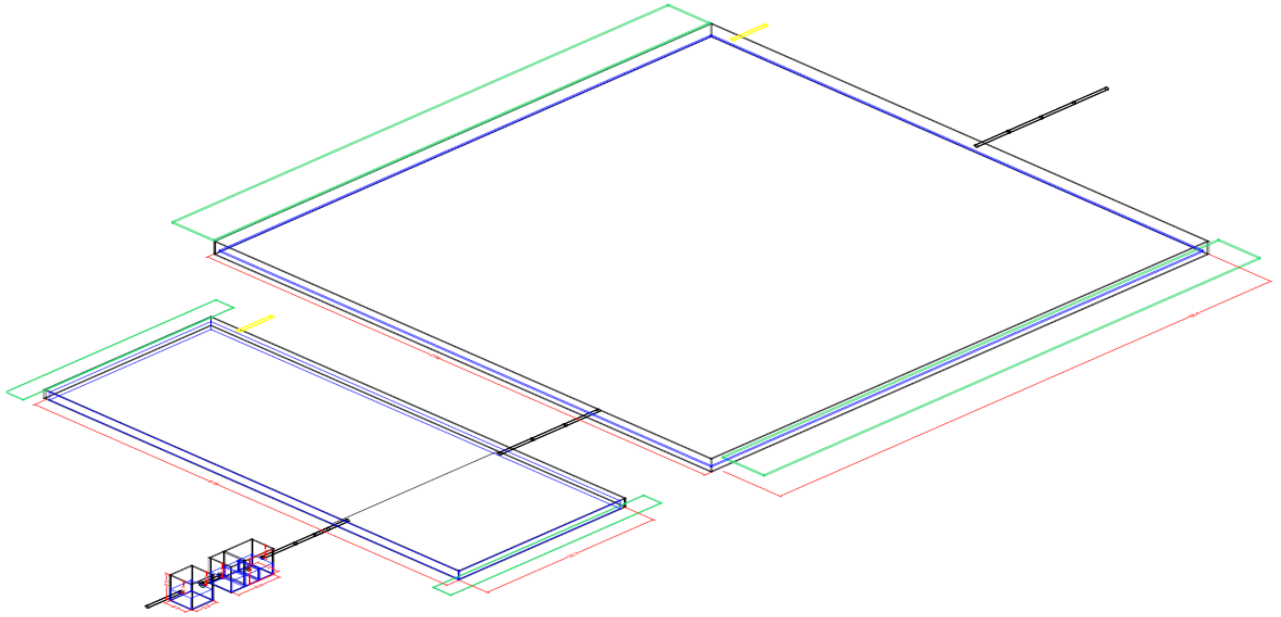


Imagen 15. PTAR vista estructural SO. Fuente: creación propia.

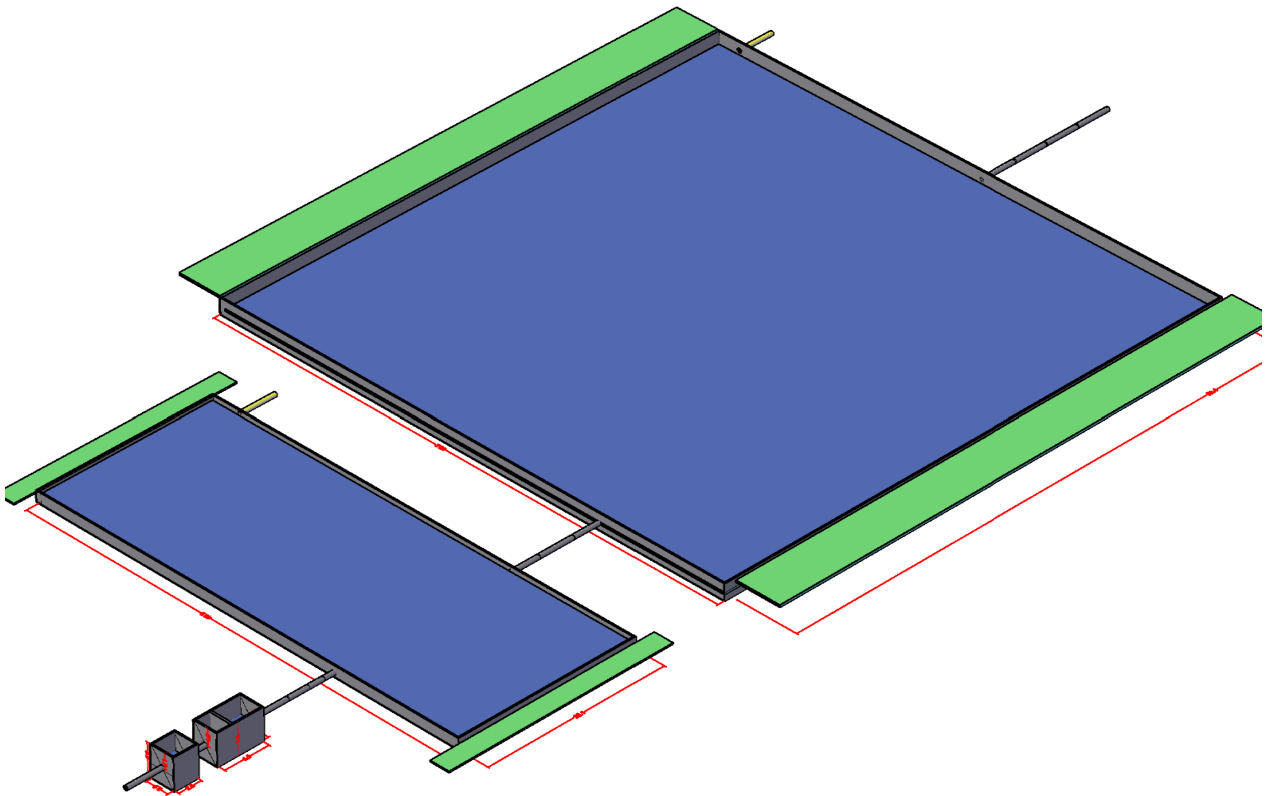


Imagen 16. PTAR vista conceptual SO. Fuente: creación propia

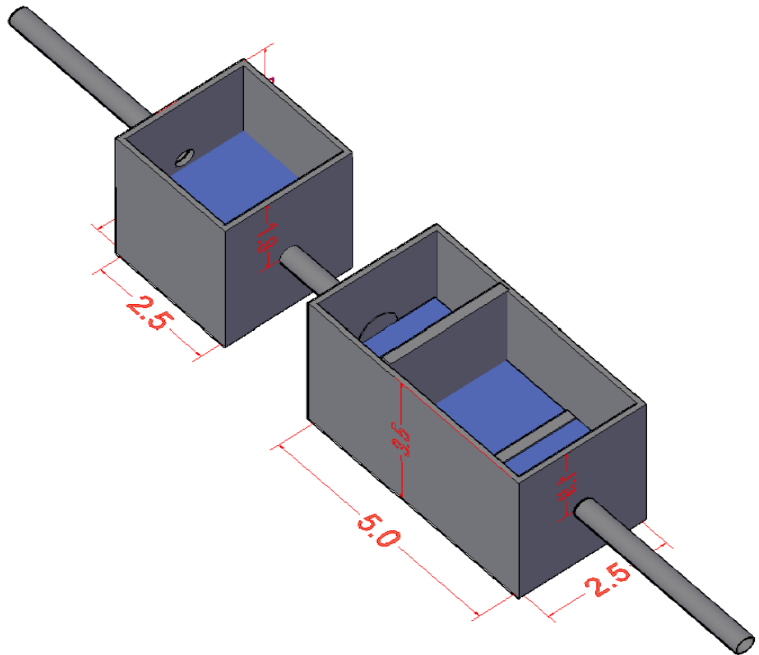


Imagen 17. Estanques de la PTAR vista conceptual SE. Fuente: creación propia.

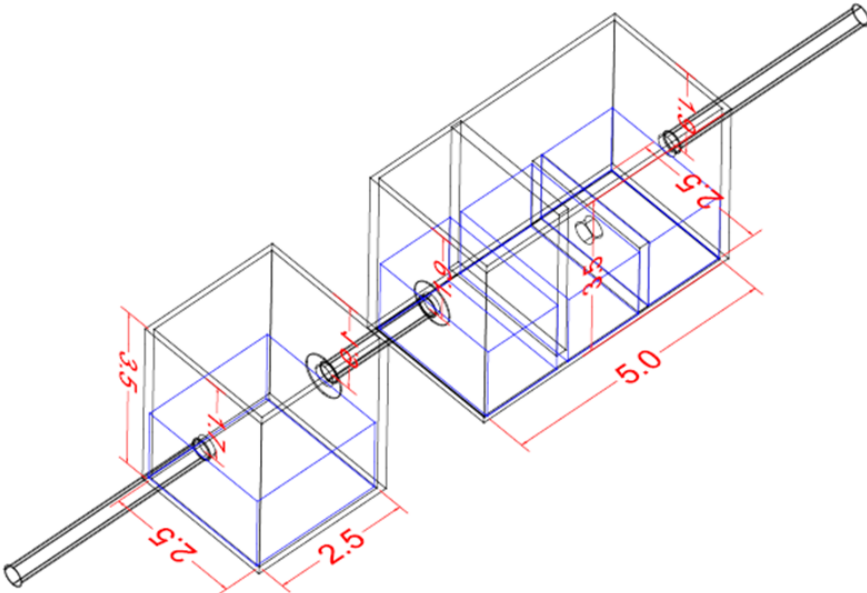


Imagen 18. Estanques de la PTAR vista estructural SO. Fuente: creación propia.

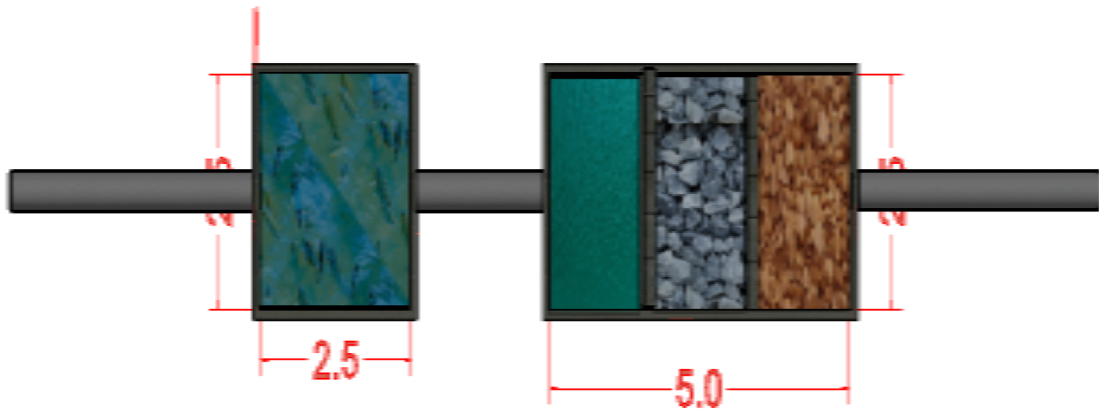


Imagen 18 Estanques de la PTAR vista realidad desde arriba. Fuente: creación propia

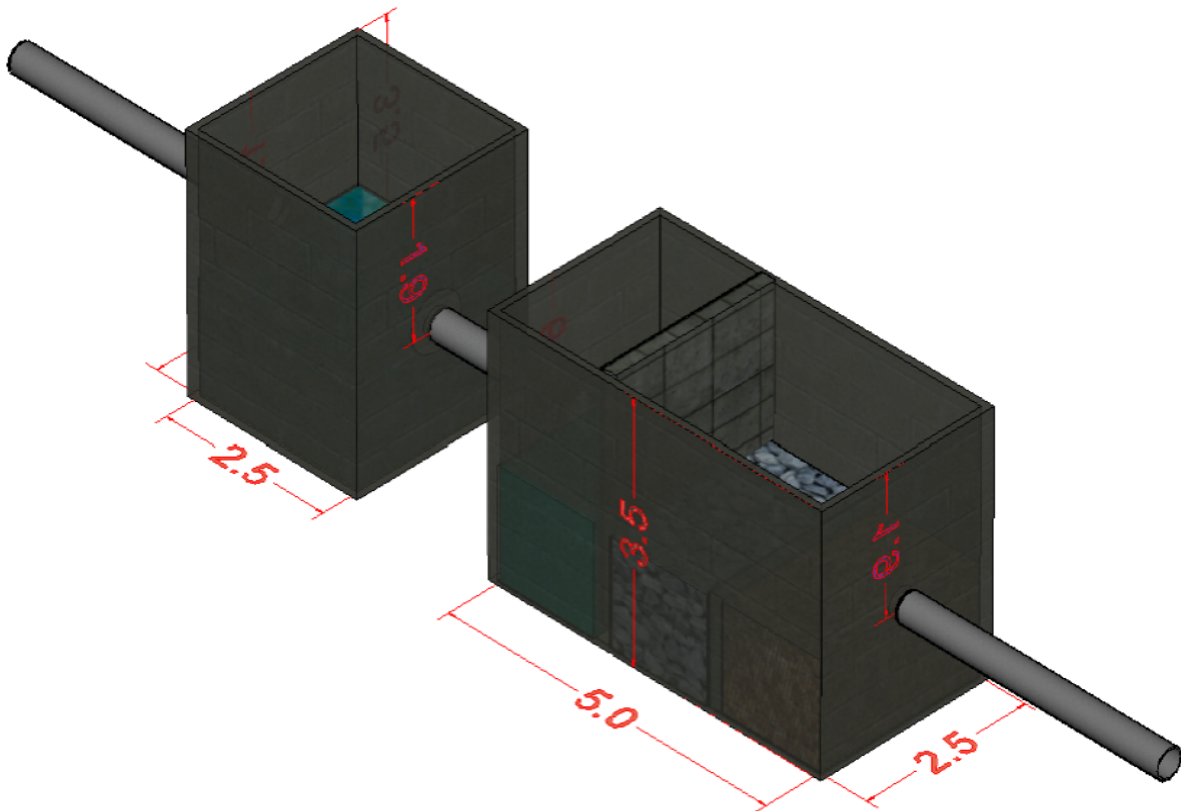


Imagen 19 Estanques de la PTAR vista realidad SE. Fuente: creación propia

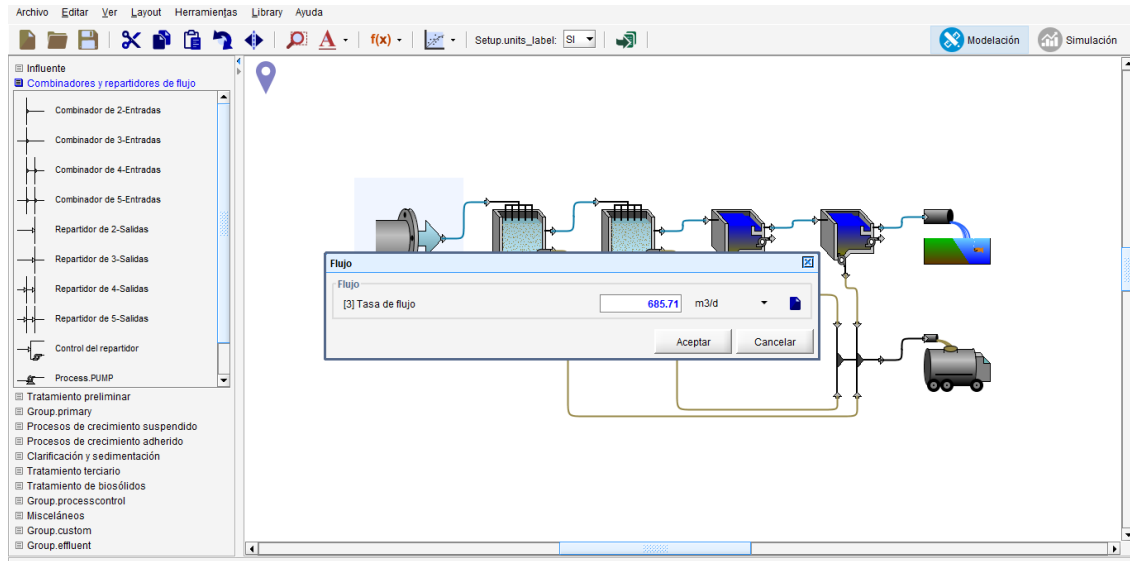


Imagen 20 Flujo para la simulación de GPS-X 8.0

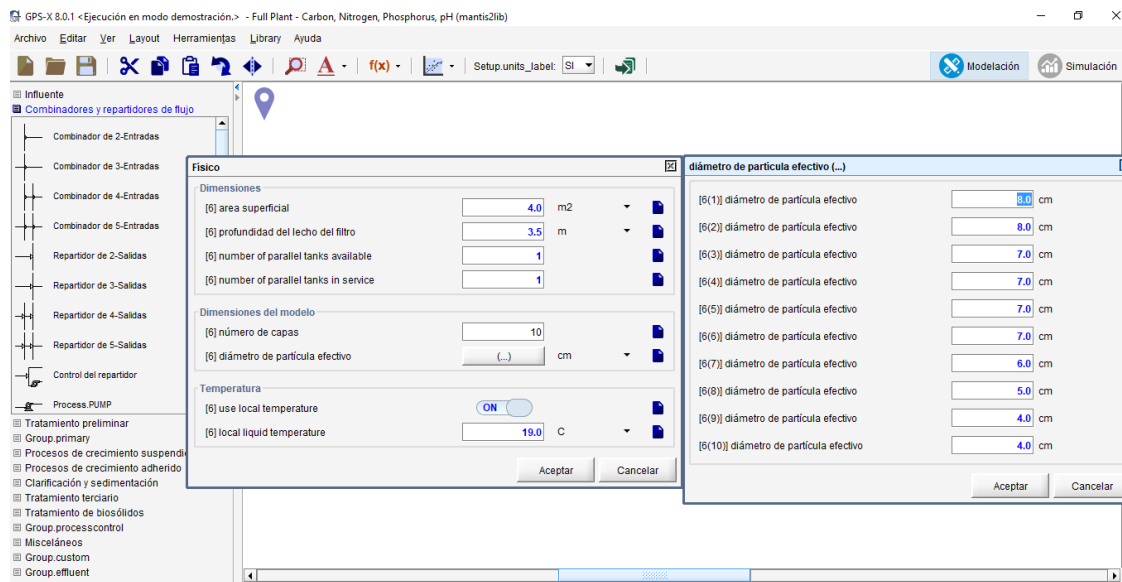


Imagen 21 Áreas y superficies para la simulación de GPS-X 8.0

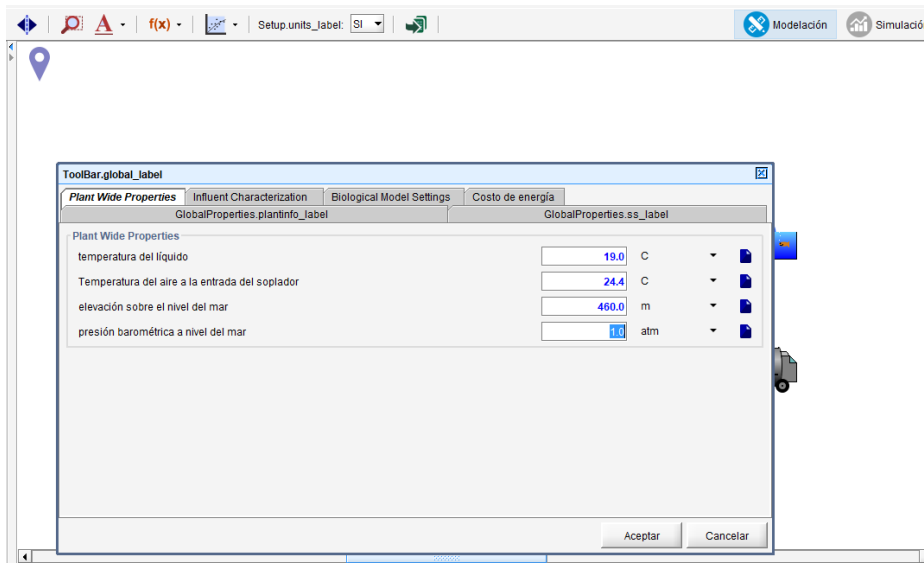


Imagen 22 Características climatológicas para la simulación de GPS-X 8.0

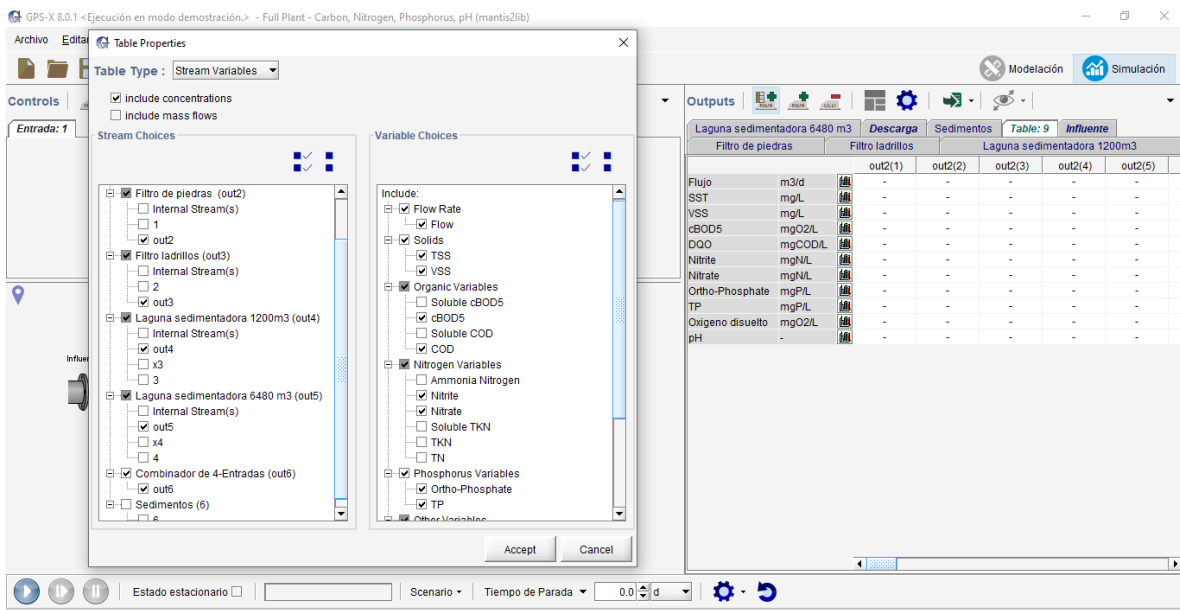


Imagen 23 Selección de parámetros para la simulación de GPS-X 8.0

XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abenzoza, J. A. (2006). Estudio del efecto de la densidad de siembre y tipo de alimentación en el crecimiento de un cultivo comercial de Tilapia (*Oreochromis sp.*) en una laguna facultativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas de ginebra, Valle del cauca. Tesis de Ingeniería Sanitaria, Escuela EIDENAR, Universidad del valle, Cali, Colombia.
- Aguilar, I. A., Villanueva, F. S., Guzmán, A. P., y Vázquez, B. A. (2006). La contaminación del agua como una externalidad para la producción pesquera y acuícola en México, CEDRSSA. pp. 107.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E. & Shvidenko, A. (2007). Europe, pp. 541– 580. In M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, eds. Cambridge, UK, Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Rep
- Andrade, Z., & David, E. (2020). Optimización del sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la planta extractora de aceite de palma en la vereda Guapá-Chigorodo Antioquia.
- Alternativa Aplicada Ambiental S.A de C.V. (Teamb) (2019). Historia de las Plantas de Agua. Recuperado de: <https://teamb.com.mx/historia-de-las-plantas-de-agua/>
- Asano, T. 2004. Urban water recycling. IWA Publishing, London, UK. Wat. Sci. Tech. 51(8) 83 – 89p.
- Bacaicoa, R. C. (2016). Integración de la técnica de depuración de aguas residuales mediante humedales con los sistemas de recirculación para la acuicultura. Revista AquaTIC, (37).

- Bahri, T., De Young, C., Cochrane, K., & Soto, D. (2012). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO.
- Borja, Á. (2011). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. Boletín. Instituto Español de Oceanografía, 18(1-4), 41-49.
- Cavallini, J. M. Acuicultura con aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan, Lima, Perú.
- Cisneros, O. X., & Saucedo, H. (2016). Reúso de aguas residuales en la agricultura. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Cyclucid. (2011). Tipologías aguas residuales. Obtenido de <https://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tipologias/>
- Da Cámara, L., Hernández, M., Paz, L., & Gómez, M. G. (2014). Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias.
- Delgado G, W., y Leyva, M. S. (2019). Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Eliminación de Elementos Microbiológicos: Coliformes, de Chiriaco–Imaza 2018.
- DOF (24 de abril de 2018). Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría de Servicios Parlamentarios. Recuperado de/Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPAS_240418.pdf
- Eco-intellutions. (2019). Ecointell. Obtenido de <http://www.ecointell.com.mx/plantas-de-tratamiento-de-agua/tipos-de-aguas-residuales-cuantos-existen-y-que-contienen>
- Falkenmark, M. (2004). Overarching, conclusions and comments from the 2004 Stockholm Water Symposium. IWA Publishing. London, Wat. Sci. Tech. 51 (8) pp 1- 4.

- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma: FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ca9229es/CA9229ES.pdf>
- Gómez, E., y Sallent, J. (2015). Saneamiento Cañada Avenida Del Zoológico Saneamiento básico. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.
- González Salas, R., Romero Cruz, O., Vidal del Río, M., & Ponce-Palafox, J. T. (2010). Alternativas ecotecnologías en la depuración de aguas residuales derivadas de la acuicultura y la producción animal
- Guerrero, J. M. C., & Pelcastre, A. J. (2021). Hacia el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura en México: marcos normativos, organización socioeconómica y desafíos. Cuadernos Geográficos, 60(3), 6-28.
- Guerrero, M. (2012). El agua. Fondo de cultura económica.
- Gutiérrez, N., Valencia, e., & Aragón, r. (2014). Eficiencia de remoción de DBO₅ y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (Coffe arábica). Colombia forestal, 17(2), 151-159. Recuperado de: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/download/5407/9705?inline=1>
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2000). La Acuicultura en México: II. Época actual y perspectivas. Biología Informa, 31(1), 1-8.
- Jijón Tutasig, W. J. (2018). Análisis del ladrillo triturado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la fábrica de lácteos "El Ranchito" ubicada en la ciudad de Salcedo (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).
- Krauss Langarica, E. E. (2019). Ley general de pesca y acuicultura sustentables y su impacto en el desarrollo acuícola de la región central del estado de Veracruz (Master's thesis).

- Lahera R. V. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 12(2), 58-69.
- López, V. E. R. (2017). Diseño de una planta de tratamiento para las aguas residuales producidas por una fábrica de chocolate de exportación (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química).
- Madera, C. A. (2006) Las aguas residuales y su uso en la piscicultura: normas de Calidad.
- Meyer, D. (2007). Reproducción y cría de alevines de tilapia.
- Morales, V.V.Q. & Morales, R.R. (2006). Regional review on aquaculture development 1. Latin America and the Caribbean - 2005. Rome. FAO Fisheries Circular, F1017/1. 177 pp. FAO.
- Moreno, L., Fernández, M.A., Rubio, J.C., Calaforra, J.M., López, J.A., Beas, J., Alcaín, G., Murillo, J.M. y Gómez, J.A. (2003) La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España
- Moya Andino, H. P. (2018). Análisis del ladrillo triturado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del Centro de Faenamiento Tena, ubicado en la ciudad del Tena, provincia de Napo (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).
- Muñoz, c. A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales (tesis pregrado). Universidad autónoma del estado de Hidalgo, instituto de ciencias básicas e ingeniería. Hidalgo, México.
- NMX-AA, N. M., & de la Federación, D. O. (1997). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

- NMX-AA, N. M., & de la Federación, D. O. (1997). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público índice.
- Nunes, A. (2002). Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarao marinho. Panorama da aquicultura Vol 12 No 71. pag 27- 39
- Obregón, D. A. A. (2006). Limnología aplicada a la acuicultura. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 7(11), 1-24.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. ROMA: FAO.
- Rodríguez, C. (2019). Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas. Obtenido de <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, 1(1), 8-15.
- ROJAS, J. R. (2005). LAGUNAS DE ESTABILIZACION. BOGOTÁ: E. Colombiana de Ingeniería.
- Sarango Araujo, O. P., & Sánchez Ramírez, J. A. (2016). Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia Crassipes y Lemna Minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora Río Manso EXA SA "Planta la Comuna", Quinindé (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Sistema de agua potable y alcantarillado municipal (SPAM), (2014). Plantas de tratamiento de aguas convencionales o alternativas. Recuperado de: <http://sapam.gob.mx/site/plantas-de-tratamiento-de-agua-convencionales-o-alternativas>
- Sosa, B., Ramírez, P., & Barrera, G. (2012) Acuicultura en México: Impacto en Producción, Manejo y Conservación.

Torres, I. S., Villarreal, a. S., Ramírez, a. A. & serna, j. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ion*, 32(2), pp. 59-66. Recuperado de: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/10619>

Carrasco, C. C., Garófalo, N. S., & Zambrano, J. L. (2005) Diseño de un sistema de tratamientos unitarios de aguas residuales de una planta procesadora de tilapia.