



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
DEPARTAMENTO DE GEOTÉCNIA E HIDRÁULICA**

TESIS

**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA
COMUNIDAD DE MONTORO A FIN DE REDUCIR EL IMPACTO
AMBIENTAL Y LA CONTAMINACIÓN DE LA ZONA**

PRESENTA

Elise Anais Medrano Escobedo

**PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRA EN INGENIERÍA CIVIL
CON OPCIÓN EN AMBIENTAL**

TUTOR

M. en Ing. Jorge Antonio Rodríguez Martínez

INTEGRANTES DEL COMITÉ TUTORAL

**M. en Ing. José Antonio de la Rosa López
M. en Ing. María Guadalupe de Lira Peralta**

Aguascalientes, Ags., 25 de julio del 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

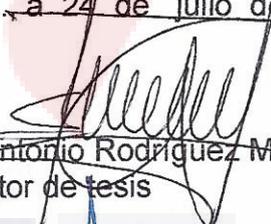
M. en Fil. Omar Vázquez Gloria
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

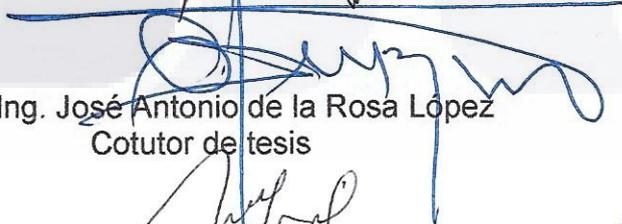
Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **ELISE ANAIS MEDRANO ESCOBEDO** con ID 118782 quien realizó la tesis titulada: **DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MONTORO A FIN DE REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL Y LA CONTAMINACIÓN DE LA ZONA**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

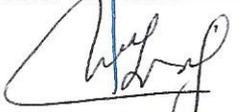
Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

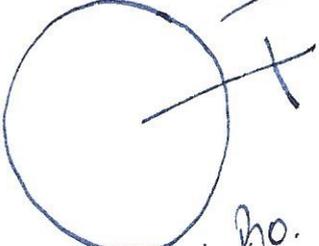
Aguascalientes, Ags., a 24 de julio del 2018.


M. en Ing. Jorge Antonio Rodríguez Martínez
Tutor de tesis


M. en Ing. José Antonio de la Rosa López
Cotutor de tesis


M. en Ing. María Guadalupe Lira Peralta
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Jefatura del Depto. de _____
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico


V.B.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES



Centro de Ciencias
del Diseño y de
la Construcción

Oficio: CCDC-D-250-2018
Asunto: Conclusión de tesis

Dra. María del Carmen Martínez Serna
Dirección General de Investigación y Posgrado
PRESENTE

Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: "DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MONTORO A FIN DE REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL Y LA CONTAMINACIÓN DE LA ZONA". Presentado por la sustentante: Elise Anais Medrano Escobedo con ID: 118782, egresada de la Maestría en Ingeniería Civil, cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que la autora cuenta con el voto aprobatorio correspondiente.

Para efecto de los trámites que a la interesada convengan, se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

ATENTAMENTE

Aguascalientes, Ags a 25 de julio de 2018
"SE LUMEN PROFERRE"

M. en Fil. Omar Vázquez Gloria
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

c.c.p.- Dr. Ricardo Arturo López León – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
c.c.p.- Dr. Miguel Ángel Soto Zamora – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- M. Jorge Antonio Rodríguez Martínez – Tutor de tesis.
✓ c.c.p.- Ing. Elise Anais Medrano Escobedo – Egresada de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Lic. Delta Guadalupe López Muñoz – Jefe Sección de Certificados y Títulos.
c.c.p. - Archivo

OVG/rbv

AGRADECIMIENTOS

A mamá, por todo tú amor y la educación que me has dado para ser una mujer fuerte y capaz, por todos estos años de trabajo juntas. A mis hermanos: Chuy, Yainia, Fer y André, por darle color a mis tardes, el estrés fue más llevadero estando a su lado. A Juan Carlos, estar a tu lado me ha motivado a ser mejor persona. A las dos mujeres más auténticas, completas y de espíritu indomable, mis mejores amigas Ale y Botis.

A mis maestros, en especial a mi comité tutorial conformado por el M. en Ing. Jorge Antonio Rodríguez, el M. en Ing. José Antonio de la Rosa y la M. en Ing. María Guadalupe de Lira, por su guía y el tiempo dedicado.

A la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA) en especial al Ingeniero Jorge Hernández, jefe del departamento de saneamiento, por el apoyo y la información brindada.

Agradezco a CONACYT por su apoyo durante estos dos años de estudio, así como a la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

DEDICATORIAS

A mi familia y amigas.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Prólogo.	16
1.2 Objetivo general.....	18
1.3 Objetivos Particulares.	18
1.4 Alcances.	19
1.5 Justificación.	19
1.6 Hipótesis.	23
1.7 Metodología.	23
CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	25
2.1 Caracterización de la laguna de estudio.....	25
2.2 Caracterización del afluente y efluente de la laguna.	25
2.3 Impacto ambiental en la comunidad.....	26
2.4 Marco legal.	29
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	32
3.1 Introducción.	32
3.2 Definiciones.	35
3.3 Tratamiento preliminar.	35
3.4 Lagunas de estabilización.	40
3.5 Factores hidráulicos que intervienen en las lagunas de oxidación.	42
3.6 Forma de la laguna.	43
3.7 Diseño de sistemas lagunares.	43
3.8 Cálculo de un sistema lagunar en pequeñas comunidades rurales.	52
3.9 Laguna aireada.	56
3.10 Dimensionamiento de aireadores superficiales.	59
3.11 Dimensionamiento de un sistema en serie de una laguna aerobia con mezcla completa seguida de una facultativa.....	61
3.12 Tratamiento de aguas residuales mediante procesos aerobios.	64
3.13 Análisis de flujo de agua.	72

CAPITULO IV: METODOLOGÍA..... 77
CAPITULO V: RESULTADOS..... 79
 5.1 Muestra compuesta..... 79
 5.2 Levantamiento topográfico y batimétrico. 80
 5.3 Análisis de contaminación del agua subterránea..... 85
 5.4 Propuestas de alternativas de solución..... 90
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS 109
CAPITULO VI: CONCLUSIONES..... 111
REFERENCIAS..... 112

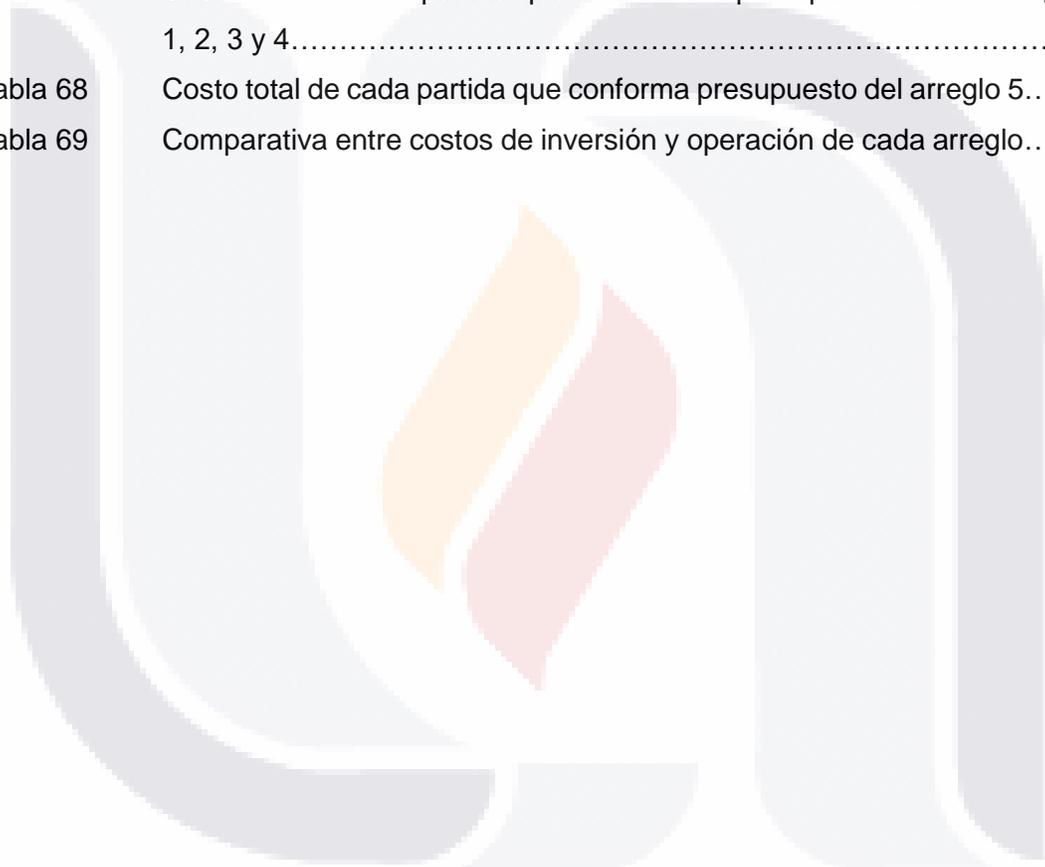


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resultados del análisis de la primera etapa.....	27
Tabla 2	Resultados del análisis de la segunda etapa.....	28
Tabla 3	Procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales.....	33
Tabla 4	Eficiencias de remoción para la selección de los procesos de tratamiento.....	34
Tabla 5	Remoción de microorganismos en diferentes sistemas de tratamiento...34	
Tabla 6	Espaciamiento entre rejillas.....	36
Tabla 7	Sección transversal rectangular de las barras.....	36
Tabla 8	Eficiencia de las rejillas en función del espesor de las barras.....	37
Tabla 9	Valores de sección transversal k.....	37
Tabla 10	Límites de aplicación para medidores Parshall.....	39
Tabla 11	Dimensiones estándar de medidores Parshall en centímetros.....	39
Tabla 12	Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.....	44
Tabla 13	Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.....	45
Tabla 14	Límites máximos permisibles.....	46
Tabla 15	Límites máximos permisibles de contaminantes.....	46
Tabla 16	Periodo de diseño en función del número de habitantes.....	47
Tabla 17	Clasificación de climas por temperatura.....	48
Tabla 18	Dotación de agua potable en función del clima y número de habitantes..	48
Tabla 19	Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura.....	52
Tabla 20	Equipo necesario para la operación y mantenimiento de lagunas de estabilización.....	55
Tabla 21	Equipo necesario para operación y mantenimiento de sistemas de lagunas de estabilización y aireadas	56
Tabla 22	Tipos de lagunas aireadas, principales características.....	57
Tabla 23	Presión de vapor de agua saturada para distintas temperaturas.....	60
Tabla 24	Presión barométrica versus altitud.....	61
Tabla 25	Tipos de lagunas aireadas, principales características.....	65
Tabla 26	Relación empírica entre remoción de sólidos y carga hidráulica superficial.....	65
Tabla 27	Clasificación de los filtros rociadores por carga hidráulica.....	68
Tabla 28	Clasificación de los filtros rociadores por carga orgánica.....	68

Tabla 29	Criterios de diseño típicos para filtros percoladores.....	69
Tabla 30	Características y cantidades de lodo típicas para diferentes procesos de tratamiento.....	70
Tabla 31	Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.....	70
Tabla 32	Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.....	71
Tabla 33	Aprovechamiento de biosólidos.....	71
Tabla 34	Categorías de los sitios de disposición final.....	71
Tabla 35	Requerimientos de compactación.....	72
Tabla 36	Valores relativos para la permeabilidad.....	75
Tabla 37	Resultados de aforo en el influente.....	79
Tabla 38	Valores promedio resultantes de la muestra compuesta.....	80
Tabla 39	Rango de valores para la reclasificación.....	82
Tabla 40	Características físicas de la laguna actual.....	83
Tabla 41	Dimensiones de la laguna facultativa.....	84
Tabla 42	Dimensiones de la laguna de maduración.....	84
Tabla 43	Comparativa entre los valores resultantes del análisis químico de los 5 pozos de estudio.....	89
Tabla 44	Datos climatológicos de la estación 1075.....	90
Tabla 45	Población para los años 1990, 2000, 2010 y 2017.....	91
Tabla 46	Coeficientes de crecimiento y población futura.....	91
Tabla 47	Gastos calculados para la población a futuro.....	92
Tabla 48	Gastos de diseño.....	92
Tabla 49	Características de la rejilla fina para pretratamiento.....	93
Tabla 50	Características del desarenador para pretratamiento.....	93
Tabla 51	Características del medidor parshall para pretratamiento.....	94
Tabla 52	Características de laguna facultativa arreglo 1.....	95
Tabla 53	Características de laguna anaerobia, arreglo 2.....	97
Tabla 54	Características de laguna facultativa, arreglo 2.....	97
Tabla 55	Características de laguna de maduración, arreglo 2.....	98
Tabla 56	Características de laguna facultativa, arreglo 3.....	99
Tabla 57	Características de laguna de maduración, arreglo 3.....	99
Tabla 58	Características de laguna aerobia con mezcla completa, arreglo 4.....	100
Tabla 59	Características de laguna aerobia facultativa, arreglo 4.....	101

Tabla 60	Características del sedimentador primario, arreglo 5.....	102
Tabla 61	Características del filtro rociador, arreglo 5.....	102
Tabla 62	Características del sedimentador secundario, arreglo 5.....	103
Tabla 63	Tiempos de retención para estabilización de lodos según temperatura media más baja.....	103
Tabla 64	Dimensionamiento del digester de lodos.....	103
Tabla 65	Dimensionamiento del lecho de secado de lodos.....	104
Tabla 66	Dosificación de la desinfección con hipoclorito de sodio.....	105
Tabla 67	Costo total de cada partida que conforma el presupuesto de los arreglos 1, 2, 3 y 4.....	106
Tabla 68	Costo total de cada partida que conforma presupuesto del arreglo 5....	107
Tabla 69	Comparativa entre costos de inversión y operación de cada arreglo....	107



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tratamiento de aguas residuales por proceso en el Estado de Aguascalientes, elaboración propia.....	16
Figura 2	Ubicación de la comunidad de Montoro, elaboración propia.....	20
Figura 3	Influente de la laguna con asolve.....	20
Figura 4	Punto de entrada a la laguna.....	20
Figura 5	Forma irregular de la laguna.....	21
Figura 6	Superficie de la laguna.....	21
Figura 7	Talud deteriorado.....	21
Figura 8	Efluente de la laguna de oxidación.....	21
Figura 9	Valores históricos de DBO ₅ en el influente y efluente de la laguna del 2005 al 2016, elaboración propia.....	21
Figura 10	Valores históricos de coliformes fecales en el influente y efluente de la laguna del 2005 al 2016, elaboración propia.....	22
Figura 11	Valores históricos de sólidos suspendidos totales en el influente y efluente de la laguna del 2005 al 2016, elaboración propia.....	22
Figura 12	Vista en planta de desarenador.....	38
Figura 13	Vista en planta de desarenador.....	40
Figura 14	Configuración de lagunas en paralelo.....	41
Figura 15	Tren de tratamiento convencional de aguas residuales.....	42
Figura 16	Laguna aireada aerobia de mezcla completa, tomada de Rolim (1999)...	57
Figura 17	Laguna aireada facultativa, tomada de Rolim (1999).....	58
Figura 18	Esquemas de tipos de aireación, tomada de Rolim (1999).....	59
Figura 19	Esquema de un filtro percolador, tomada de CONAGUA (2016).....	66
Figura 20	Aparato experimental para ilustrar la ley de Darcy. Tomada de Flores (2000).....	72
Figura 21	Uso del efluente para riego, elaboración propia.....	79
Figura 22	Levantamiento topográfico y batimétrico de la laguna, malla creada para toma de mediciones batimétricas, elaboración propia.....	81
Figura 23	Mediciones batimétricas, elaboración propia.....	81
Figura 24	Levantamiento topográfico de la laguna mediante dron, elaboración propia.....	82
Figura 25	Área de la laguna reclasificada.....	83
Figura 26	Mapa geológico de la zona de estudio, elaboración propia.....	85

Figura 27 Dirección del flujo subterráneo en la zona de estudio, elaboración propia.....86

Figura 28 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 en el pozo R-049, elaboración propia.....86

Figura 29 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo R-067, elaboración propia.....87

Figura 30 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo R-021, elaboración propia.....87

Figura 31 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo P-074, elaboración propia.....88

Figura 32 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo P-167, elaboración propia.....88

Figura 33 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para los pozos P-074, P-167, T-021, R-049 y R-067, elaboración propia.....89

Figura 34 Ubicación de la estación 1075, elaboración propia.....90

Figura 35 Configuración del pretratamiento, vista en planta, elaboración propia....94

Figura 36 Configuración de la rejilla fina, vista en planta, elaboración propia.....95

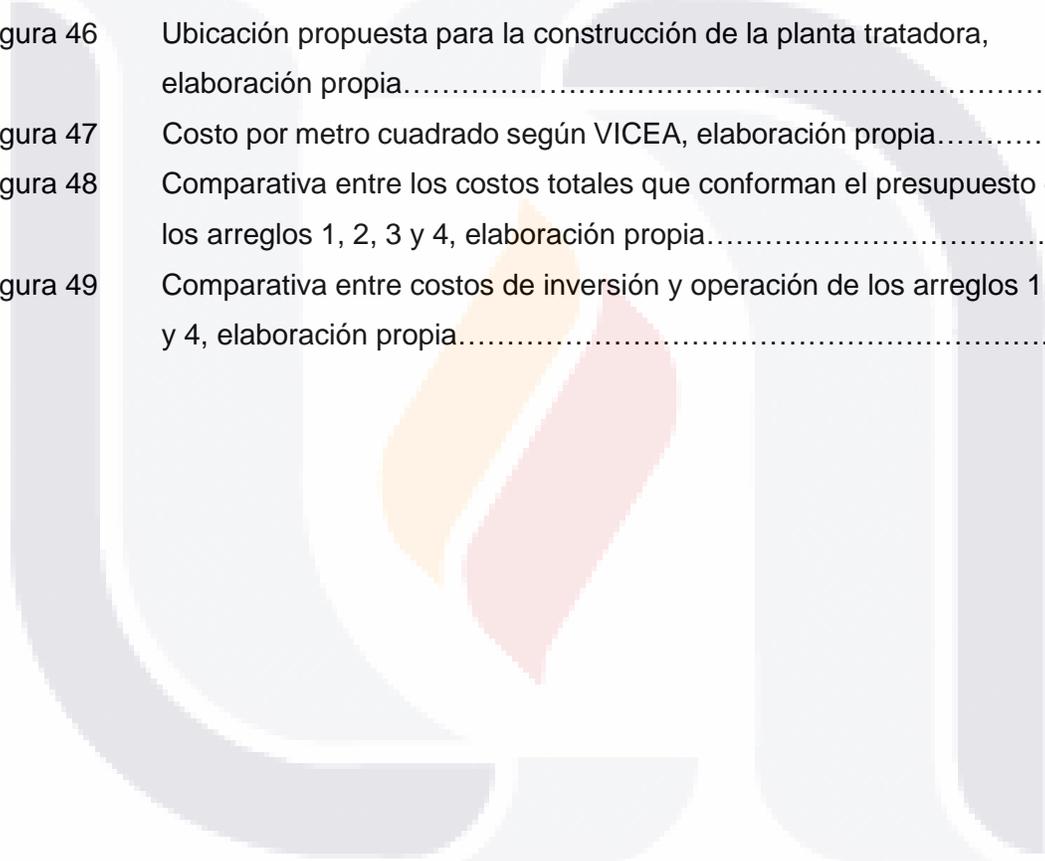
Figura 37 Corte longitudinal del arreglo 1, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.....96

Figura 38 Vista en planta del arreglo 1, dimensiones del sistema, elaboración propia.....96

Figura 39 Corte longitudinal del arreglo 2, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.....98

Figura 40 Vista en planta del arreglo 2, dimensiones del sistema, elaboración propia.....98

Figura 41	Corte longitudinal del arreglo 3, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema.....	100
Figura 42	Vista en planta del arreglo 3, dimensiones del sistema.....	100
Figura 43	Corte longitudinal del arreglo 4, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.....	101
Figura 44	Vista en planta del arreglo 4, dimensiones del sistema, elaboración propia.....	101
Figura 45	Arreglo 5, dimensiones del sistema, elaboración propia.....	104
Figura 46	Ubicación propuesta para la construcción de la planta tratadora, elaboración propia.....	105
Figura 47	Costo por metro cuadrado según VICEA, elaboración propia.....	106
Figura 48	Comparativa entre los costos totales que conforman el presupuesto de los arreglos 1, 2, 3 y 4, elaboración propia.....	107
Figura 49	Comparativa entre costos de inversión y operación de los arreglos 1, 2, 3 y 4, elaboración propia.....	108

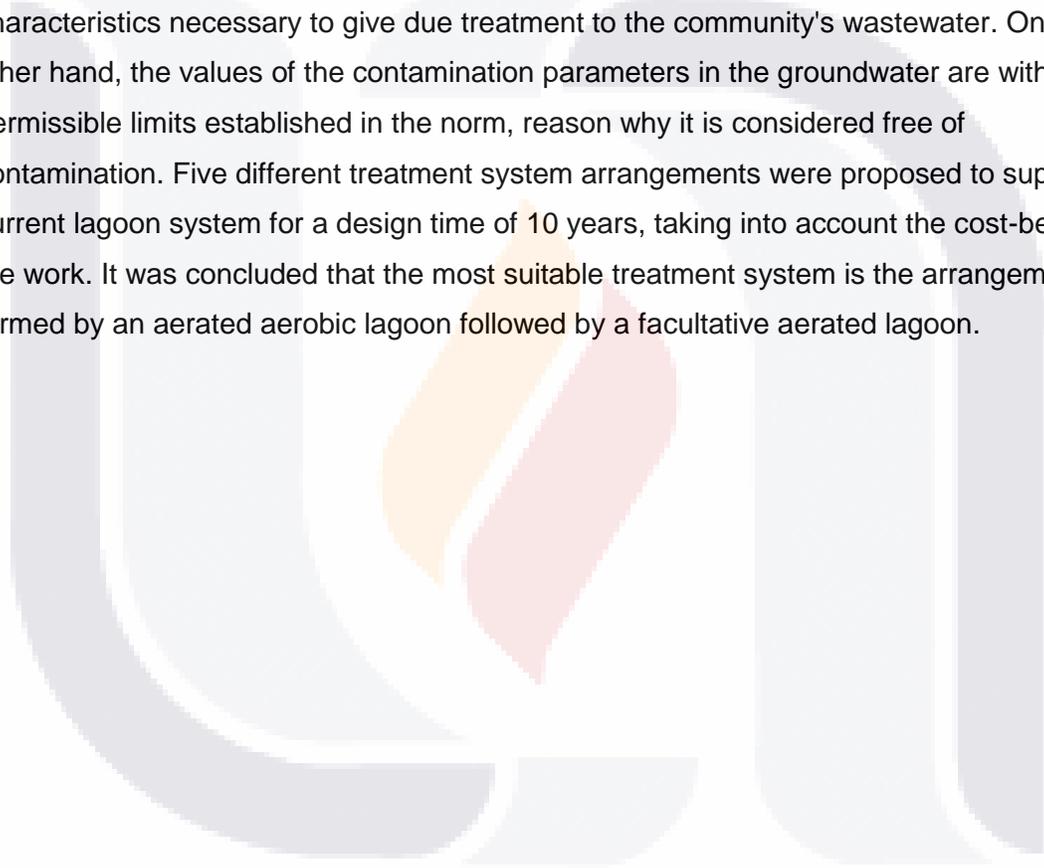


RESUMEN

La presente tesis se centró en la evaluación de la situación actual de la laguna de oxidación de la comunidad de Montoro en el municipio de Aguascalientes que da tratamiento al agua residual de origen doméstico de dicha comunidad, tomando en cuenta antecedentes históricos de la calidad del agua, debido a su mal funcionamiento y a la mala calidad del efluente. Además se valoró la posible contaminación del agua subterránea en la zona de estudio, así como el área aledaña. Como resultado se obtuvo que la laguna actual no cuenta con las características geométricas necesarias para dar el debido tratamiento al agua residual de la comunidad. Por otra parte, los valores de los parámetros de contaminación en el agua subterránea se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la norma, por lo que se considera libre de contaminación. Se propusieron 5 distintos arreglos de sistemas de tratamiento para suplir al sistema lagunar actual para un tiempo de diseño de 10 años, tomando en cuenta el costo beneficio de la obra. Se concluyó que el sistema de tratamiento más adecuado es el arreglo conformado por una laguna aireada aerobia seguida de una laguna aireada facultativa.

ABSTRACT

This thesis focused on the evaluation of the current situation of the oxidation lagoon of the community of Montoro in the municipality of Aguascalientes that treats the residual water of domestic origin of said community, taking into account historical background of water quality, due to its malfunction and the poor quality of the effluent. In addition, the possible contamination of groundwater in the study area, as well as the surrounding area, was assessed. As a result, it was obtained that the current lagoon does not have the geometric characteristics necessary to give due treatment to the community's wastewater. On the other hand, the values of the contamination parameters in the groundwater are within the permissible limits established in the norm, reason why it is considered free of contamination. Five different treatment system arrangements were proposed to supply the current lagoon system for a design time of 10 years, taking into account the cost-benefit of the work. It was concluded that the most suitable treatment system is the arrangement formed by an aerated aerobic lagoon followed by a facultative aerated lagoon.



CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Prólogo.

En México se ha dado una disminución en la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos que representan fuentes de abastecimiento debido al acelerado crecimiento demográfico del país en las últimas décadas.

El uso doméstico de los recursos hidráulicos es prioritario y su abasto va de acuerdo con la importancia política, económica y grado de desarrollo de la población. En localidades menores a 5,000 habitantes la dotación es la necesaria para satisfacer necesidades primarias de la población. En la agricultura el uso de aguas residuales es común en zonas con escasez de agua, actualmente se riegan cerca de 350 mil hectáreas con aguas residuales crudas o mezcladas con aguas claras.

México cuenta con un registro de 2,337 plantas de tratamiento en operación, con una capacidad instalada de 151,883.43 l/s y un caudal tratado de 111,253.51 l/s, Aguascalientes ocupa el 6° lugar en el tratamiento de aguas residuales, con la operación de 134 plantas, de las cuales 66 son lagunas de estabilización. (CONAGUA, 2014).

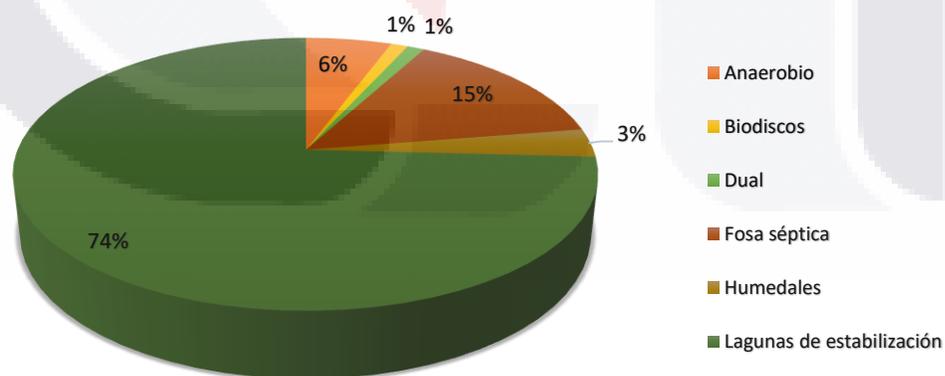


Figura 1 Tratamiento de aguas residuales por proceso en el Estado de Aguascalientes, elaboración propia.

Una laguna de estabilización es un sistema simple y flexible de tratamiento biológico. Los tipos y modificaciones del sistema de laguna son variados, se clasifican como anaerobias, aerobias, facultativas y de maduración. Consiste en una excavación en el terreno, con un área superficial y volumen suficientes para garantizar el tiempo de tratamiento que requiere para degradar la materia por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos. Pueden ser usadas en serie o en paralelo según sean los requerimientos. Debido a su bajo costo de construcción y mantenimiento representan una buena opción para países en desarrollo, en México es el proceso más usado para el tratamiento de aguas residuales, con un total de 718 lagunas en operación (CONAGUA, 2014).

Las Lagunas tienen como objetivo remover de las aguas residuales domésticas la materia orgánica que ocasiona la contaminación, eliminar microorganismos patógenos que ponen en peligro la salud y utilizar su efluente, de ser deseado, para otras actividades como el riego.

Los factores que influyen en la calidad del agua deseada para el efluente dependen de las siguientes variables:

- Número de microorganismos patógenos.
- Indicadores de contaminación, los principales son la demanda biológica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos (SS).
- Uso que se dará al efluente para poder definir sus parámetros máximos según las normas: NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles para las aguas residuales tratadas que se re usen en servicios al público.

Independientemente de las características de las aguas residuales domésticas, éstas deben ser tratadas de forma adecuada antes de ser vertidas o reutilizadas, con el fin de

proteger el estado ecológico del medio receptor, así como prevenir problemas de salud de la población, por lo que el efluente debe tener características óptimas para ser reutilizada. Las lagunas localizadas en el municipio de Aguascalientes que dan tratamiento a las aguas residuales domésticas, han estado operando en condiciones poco satisfactorias en términos de calidad del agua efluente, misma que debe cumplir con los límites establecidos por las normas.

1.2 Objetivo general.

Caracterizar y dar un diagnóstico de la laguna, así como proponer medidas de corrección y mitigación para su funcionamiento. Evaluar el impacto provocado por la laguna de oxidación en la comunidad de Montoro.

1.3 Objetivos Particulares.

1. Elaboración del análisis de datos históricos de la calidad del agua influente y efluente.
2. Realización de aforos para conocer el gasto de entrada en la Laguna.
3. Determinación de las características de la laguna de oxidación: dimensiones, profundidades, volumen útil (batimetría).
4. Caracterización de las aguas residuales mediante pruebas de laboratorio para determinar valores actuales de los indicadores de contaminación más importantes.
5. Propuesta de alternativas de solución para la problemática y/o la mejora de la laguna de estudio.

Para la tesis sólo se evaluarán uno de los posibles impactos producidos por la Laguna: contaminación del agua subterránea. Se cuenta con el apoyo de la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA) para recabar información sobre el tema mediante convenio expedido el 27 de octubre del 2016.

1.4 Alcances.

Este trabajo puede servir a ingenieros civiles y ambientales en búsqueda de una metodología para la caracterización de una laguna de estabilización, que como es en el caso de la laguna de oxidación en la comunidad de Montoro, no cuente con información para su evaluación, así como a las dependencias y organismos operadores a cargo de este tipo de tratamiento.

Se hace mención de la situación general de las lagunas de estabilización en México, en particular la ciudad de Aguascalientes, donde se incluye su importancia, grado de utilización y problemática actual.

Como se verá en el capítulo 2, el sistema por lagunaje puede tener un impacto nocivo en la comunidad aledaña, este trabajo evaluará uno de los principales problemas: la posible contaminación de las aguas subterráneas debido a la infiltración en la laguna. Se mencionará de forma general los pasos a seguir para determinar si es factible dicha contaminación. Finalmente se hace la propuesta para la corrección y mejora de la laguna de estudio.

1.5 Justificación.

La comunidad de Montoro está situada en el Municipio de Aguascalientes, con latitud 778947.38 al este y longitud 2408310.24 m al Norte en la zona 13, a 1859 metros sobre el nivel del mar, como se puede observar en la figura 2.

Según el censo 2010 elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Montoro cuenta con 1,574 habitantes, de los cuales 528 son económicamente activos, de los cuales, el 24.20% son hombres y 9.33% son mujeres. El 60.22% de las personas económicamente activas se dedican al sector secundario conformado por la construcción, electricidad, gas e industria manufacturera, el 30.88% está representado por el sector terciario conformado por el comercio, servicios y transportes, por último, el 8.90% representa al sector primario compuesto por la agricultura y ganadería.



Figura 2 Ubicación de la comunidad de Montoro, elaboración propia.

La comunidad cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales de origen doméstico conformado por una laguna de oxidación de características desconocidas por CCAPAMA y el organismo operador PROACTIVA Medio Ambiente Caasa. El estado físico de la laguna puede observarse en las imágenes 3 a la 8.



Figura 3 Influyente de la laguna con asolve.



Figura 4 Punto de entrada a la laguna.



Figura 5 Forma irregular de la laguna.



Figura 6 Superficie de la laguna.



Figura 7 Talud deteriorado.



Figura 8 Efluente de la laguna de oxidación.

De acuerdo a los valores históricos obtenidos en pruebas de calidad realizados por laboratorios certificados, desde el año 2005 al 2016, la laguna se encuentra operando de forma ineficiente, obteniendo valores mayores a los permitidos por la normativa vigente. Dichos valores se pueden observar en las figuras 9, 10 y 11.

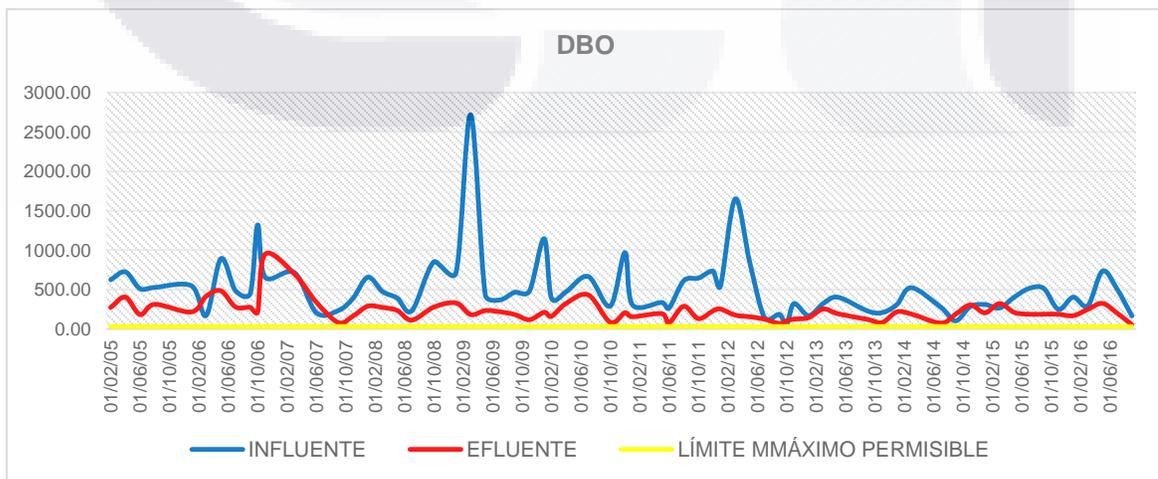


Figura 9 Valores históricos de DBO₅ en el influente y efluente de la laguna del 2005 al 2016, elaboración propia.

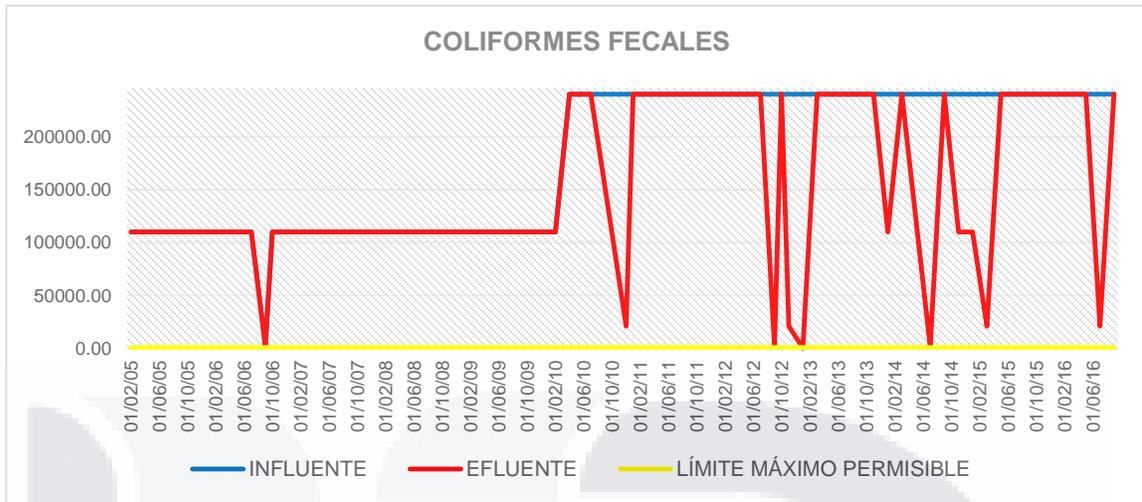


Figura 10 Valores históricos de coliformes fecales en el influente y efluente de la laguna del 2005 al 2016, elaboración propia.

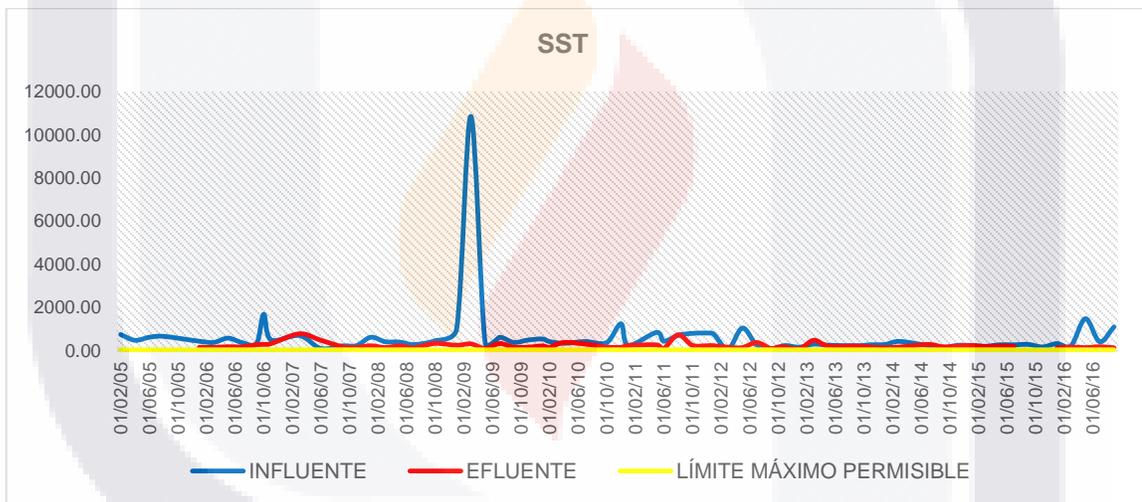


Figura 11 Valores históricos de sólidos suspendidos totales en el influente y efluente de la laguna del 2005 al 2016, elaboración propia.

La mala operación de la laguna puede desencadenar varios impactos:

- Emisión de gases.
- Contaminación de aguas subterráneas.
- Organismos patógenos en la zona que originan la transmisión de enfermedades y reducen la calidad de vida de la población.
- Contaminación por residuos sólidos.
- Daño en la flora y fauna de la zona.

- Daños en la salud de la población.

Estos impactos pueden representar un gran problema teniendo en cuenta que la comunidad de Montoro actualmente cuenta con 1,574 habitantes y su cercanía con la misma.

Así mismo, organismos operadores (PROACTIVA Medio Ambiente CAASA y CCAPAMA) no cuentan con el diseño original de la laguna, además de no conocer sus características actuales.

1.6 Hipótesis.

“El funcionamiento de la laguna de oxidación de Montoro no cumple con la normatividad vigente en términos de eficiencia de su diseño hidráulico.

El agua subterránea se ve impactada de manera negativa debido a la Laguna de Oxidación de la comunidad de Montoro”

1.7 Metodología.

Se realizará la caracterización de la laguna. Esto se refiere a su clasificación mediante la determinación de su profundidad, configuración geométrica, gasto de entrada (influyente).

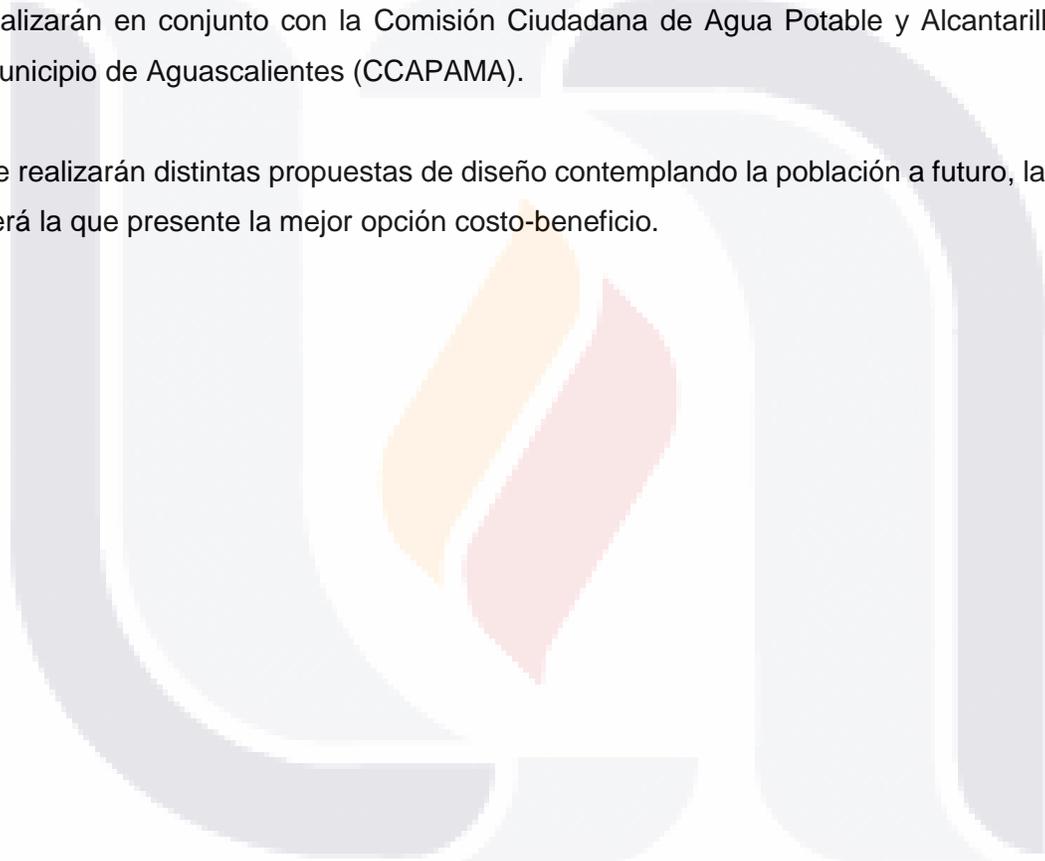
Se elaborará el levantamiento batimétrico para determinar perfiles, volúmenes de sólidos sedimentados y las zonas de acumulación de lodo más críticas en la laguna. Para el levantamiento se definirá una malla formada por perfiles longitudinales y transversales para tener en total mediciones batimétricas para cada punto de intersección mediante estación total y prismas para mantener el alineamiento de los perfiles. La obtención de los datos batimétricos de profundidad de la columna de líquido y de lodo acumulado se realizará con estadales. Con los datos obtenidos se elaborarán los perfiles del fondo de las lagunas y de acumulación de sedimentos, se calcularán los volúmenes con programas de diseño asistido por computadora.

Asimismo, el levantamiento permitirá conocer las dimensiones de la laguna, su área y sus profundidades. Calculando el volumen total de la laguna y el de lodos, se obtendrá el volumen disponible o útil.

Se medirán los principales indicadores de contaminación, su monitoreo se hará según lo indicado por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

Para evaluar el posible impacto ambiental de la laguna se determinarán la dirección del flujo subterráneo mediante el procesamiento de los niveles estáticos de los pozos urbanos y rurales de la zona, se tomarán muestras para el análisis químico de los pozos aguas abajo de la laguna de oxidación para su comparación con la normativa vigente. El software libre a utilizar para el procesamiento de datos será Qgis. Dicha información y análisis se realizarán en conjunto con la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA).

Se realizarán distintas propuestas de diseño contemplando la población a futuro, la elegida será la que presente la mejor opción costo-beneficio.



CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2.1 Caracterización de la laguna de estudio.

Las lagunas de estabilización se clasifican según su profundidad: anaerobias (3 a 5 m), facultativas (1.5 a 2.5 m), de maduración (0.6 a 1.5 m) y aerobias (0.3 a 0.5 m) (Rolim, 2000).

Cuando no se conoce la profundidad de la laguna, un levantamiento batimétrico permite determinarla y verificar los perfiles de acumulación de sólidos sedimentados y estimar la cantidad de lodo acumulado en el fondo de las lagunas, además del volumen útil disponible. Para ello, tomando como base lo mencionado por Sánchez y Matsumoto (2013), el levantamiento puede realizarse mediante la determinación de una cuadrícula previamente definida por perfiles longitudinales y transversales para tener un número n de puntos con su respectiva medición batimétrica, la obtención de los datos será mediante estación total y prismas reflectantes para después ser usados en la elaboración de perfiles mediante programas por computadora.

2.2 Caracterización del afluente y efluente de la laguna.

La generación de aguas residuales es una consecuencia de la actividad humana que dependerá de las costumbres y condiciones de vida, tamaño y características de la población de estudio.

Sánchez y Matsumoto (2013) plantean una metodología para el monitoreo del afluente y efluente para el sistema de laguna que consiste en un total de 20 campañas de muestreos, distribuidas en 3 etapas representativas de las condiciones climáticas a las que se encontraría sometida la laguna: época de lluvia, periodo de sequía y comienzo del periodo de lluvias. Los puntos críticos dentro de la laguna para el muestreo fueron 2: a la entrada de la planta (afluente) y a la salida (efluente). Los parámetros medidos in situ fueron el pH, oxígeno disuelto y temperatura, los medidos en laboratorio fueron demanda bioquímica de oxígeno (DBO), DBO filtrada, demanda química de oxígeno (DQO), número más probable de coliformes totales (NMPCT) y coliformes fecales (NMPCF) por cada 100 ml, sólidos totales (ST), fijos (STF) y volátiles (STV), sólidos suspendidos totales (SST), fijos (SST) y volátiles (SSV). La medición de los parámetros se basó en la metodología de análisis

establecida por APHA, AWWA y WPCF. Se realizó un aforo el caudal para conocer la variabilidad del flujo por 24 horas consecutivas.

Por su parte, Correa, Cuervo, Mejía y Aguirre (2012) realizaron 5 muestreos generales y se ubicaron 14 estaciones de muestreo a la entrada, centro y salida para un sistema de tratamiento conformado por lagunas en serie. La toma de datos de caudal se realizó simultáneamente con la toma de muestras. Los muestreos en los 14 puntos fueron simples y compuestos, cada 4 horas. Se hicieron mediciones puntuales de las variables: temperatura del aire y agua, oxígeno disuelto, potencial redox, Ph y caudal. Se tomaron muestras compuestas de: DQO, DBO₅, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos sedimentables (S Sed) y clorofila.

En ambos casos se obtuvo que los sistemas de tratamiento operen de forma ineficiente con bajo nivel de remoción de DBO.

2.3 Impacto ambiental en la comunidad.

El impacto ambiental se puede definir como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza y su evaluación (EIA) está orientada a los posibles impactos ambientales provocados por obras o actividades en etapa de proyecto, siendo así un instrumento de tipo preventivo (SEMARNAT, 2012).

Según Alegre (2000), para evaluar el Impacto Ambiental se debe hacer un estudio que caracterice el proyecto mediante la descripción de antecedentes, objetivos y justificación, sus alternativas de ejecución, así como la descripción y definición de los objetivos de calidad referenciados al marco legal. Para su realización se hará referencia a la geología e hidrología del área, el uso del suelo donde este proyectada la laguna o donde ya se encuentre operando, el clima, flora y fauna, la calidad del aire, ambiente acústico y caracterización socio-económica y demográfica de la comunidad. La identificación de los posibles impactos deberá ser identificada durante dos etapas: construcción y operación, para después ser evaluados y proponer un plan de gestión ambiental que estará integrado por medidas de prevención y mitigación de impactos negativos durante su etapa de construcción y operación, además de un monitoreo ambiental y plan de contingencias.

Por otro lado, Bañuelos (2002) considera 2 etapas para la determinación de los posibles impactos ambientales debido al tratamiento por lagunaje, estos son: identificación y clasificación de las acciones con efectos sobre el medio ambiente y valoración y definición de los impactos. En la primera etapa se evalúan todas las posibles alteraciones y riesgos ambientales probables para los elementos del medio y sus variables, usando como herramienta una matriz de Leopold. El resultado del análisis se presenta en la tabla 1.

Tabla 1
Resultados del análisis de la primera etapa

ELEMENTOS DEL MEDIO		ACCIONES DEL PROYECTO							
		Expropiación de terrenos	FASE DE CONSTRUCCIÓN					FASE DE OPERACIÓN	
			Deforestación y limpieza de terrenos de la ETE	Deforestación y limpieza de terrenos de las EEs	Transporte de materiales	Construcción de las lagunas de la E. T. E.	Construcción de las estaciones elevadoras y emisarios	Funcionamiento de las lagunas de la E. T. E.	Vertido del effluente de las lagunas.
CLIMA	Temperatura		INS						
	Humedad		INS				INS		
ATMÓSFERA	Calidad del aire		INS	INS	INS	IN			
	Ruido y vibraciones			INS	INS	IN	IN		INS
GEOMORFOLOGIA Y PAISAJE			INS	INS		INS	INS	IN	IN
SUELOS	Estructura		INS	INS		IN	INS	INS	INS
	Erosión		INS	IN		IN		IN	
ÁGUAS	Calidad aguas superficiales		INS	IN		IN		ISBR	IN
	Calidad aguas subterráneas								ISBR
ECOSISTEMAS	Cursos fluviales			IN			INS		INS
	Manglares					INS		ISBR	
	Zonas intermareales		IN			INS		ISBR	
	Estuario		INS	INS		IN	INS	ISBR	IN
	Culturas e Humanizados			INS		INS	INS		ISBR
POBLACIÓN	Bienestar de la población		IN	IN	IN	IN	IN	IN	IN
	Viviendas próximas	IN							
Saneamiento básico						ISB	ISB	ISB	ISB
Condiciones sanitarias de la población					INS			ISBR	
ECONOMIA.	Empleo local		ISB	ISB		ISB	ISB	ISB	ISB
	Comercio local					ISB	ISB		
TRANSPORTE	Tráfico				IN		IN		

Nota: INS: Impacto no significativo; ISB: Impacto significativo beneficioso; ISBR: Impacto significativo beneficioso con riesgo de impacto negativo; IN: Impacto negativo. Tomado de Bañuelos (2002).

Para la segunda etapa definió y evaluó los atributos y parámetros utilizados para la caracterización de impactos, específicamente para la fase de operación se tienen los resultados vistos en la tabla 2.

Tabla 2
Resultados del análisis de la segunda etapa

ACCIÓN DEL PROYECTO	VARIABLE DEL MEDIO AFECTADA	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
Funcionamiento de las lagunas de la estación. Riesgo de ruptura de los taludes.	Calidad de las aguas superficiales	La eventual ruptura de los taludes de las lagunas provocaría la contaminación de las aguas del estuario.
	Ecosistemas de zona intermareal e inmediata.	La ruptura de los taludes influiría en el equilibrio del ecosistema del área principalmente por contaminación orgánica.
	Ecosistemas de manglar	
	Ecosistemas de estuario	
Vertido del efluente tratado	Erosión del suelo	El vertido del efluente tratado al río puede tener efectos erosivos en el lecho del río.
	Calidad de las aguas superficiales	El vertido del efluente tratado modificará localmente la calidad del agua del río, especialmente parámetros como materia orgánica, nutrientes y sólidos.
	Ecosistema Estuario	Tratándose de un aporte de agua rico en nutrientes, a composición de la vegetación y fauna de las inmediaciones del punto de vertido va a ser modificada.
	Paisaje	Tanto por la presencia del emisario como por la posible aparición de manchas o espuma en la superficie del río.
Funcionamiento de las lagunas.	Calidad de las aguas superficiales	El funcionamiento de la estación posibilitará la mejoría de la calidad de las aguas del cuerpo receptor, ya que evita o minimiza el vertido de agua residual bruta en el mismo.
	Geomorfología e paisaje	La ocupación de un área totalmente plana por el sistema de lagunas, producirá alteraciones en el paisaje local.
	Empleo	El funcionamiento de la estación exigirá la contratación de operadores del sistema.
	Bienestar de la población	La eventual operación inadecuada de la estación podrá provocar molestias a los vecinos, tales como malos olores. Sin embargo, cabe esperar una gran mejoría en las condiciones de saneamiento básico del área.

Nota: Tomado de Bañuelos (2002).

En la actualidad el efluente de mala calidad, parcialmente tratado, es usado sin considerar los efectos nocivos que puede tener en la sociedad, entre ellos se encuentra la contaminación del acuífero, León y Sanhueza (1995) mencionan que el almacenamiento y uso de las aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas, podría producir contaminación del agua subterránea, esto dependerá del nivel freático y de la estratificación del suelo, el impacto podrá ser evitado si se hace uso de un sistema de impermeabilización que evite la posible infiltración de las aguas residuales hacia el subsuelo.

Lesser, Arellano y González (2011) realizaron análisis físico-químicos en 65 puntos que incluyen pozos de abastecimiento y norias, para determinar la calidad del agua del acuífero

del Valle del Mezquital ubicado en México central mediante. Los resultados fueron comparados con la norma NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se encontró que el sodio y los sólidos totales disueltos generalmente se encuentran por arriba del límite permisible, la mitad de los sitios analizados presenta fluoruros por arriba del valor establecido en la norma, además 30 puntos de aprovechamiento presentan coliformes totales. De acuerdo a los resultados de los análisis se clasificó el agua subterránea de acuerdo a su composición química tomando en cuenta aniones y cationes en solución mediante diagramas de Piper.

La Comisión Nacional del Agua (2016) menciona que para evitar dicha contaminación es necesario que la laguna este situada en un suelo impermeable, como lo es un suelo arcilloso. De no contar con un suelo con características óptimas deberá impermeabilizarse el piso de la laguna mediante las siguientes técnicas:

- Revestimiento con suelos compactados. Deben ser suelos de baja permeabilidad, estabilidad a los gradientes fuertes a los que se encuentre sometido y resistencia a la erosión.
- Suelos locales mejorados con estabilizantes químicos o con la adición de suelos importados. Es una mezcla de suelo con productos químicos que actúan como selladores o reducen las filtraciones.
- Revestimientos sintéticos (geomembranas o liners). Su objetivo es eliminar totalmente las filtraciones, su correcta instalación será primordial para garantizar un óptimo desempeño.

2.4 Marco legal.

En 1917 el gobierno federal promulgó la Ley Federal para prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cual determina que el crecimiento sostenido sólo puede darse a través de la planeación y el ordenamiento integral de las actividades productivas. Se considera también que la prevención y la participación activa de la sociedad es el medio más eficaz para conservar el equilibrio ecológico.

En marzo de 1973 se publicó el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

Debido a la importancia que se ha dado al mejoramiento y preservación del medio ambiente, se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), responsable de crear reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Actualmente, el organismo que se hace cargo es la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

En 1988 entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, que abroga la Ley Federal de Protección al Ambiente, la cual establece las bases de la política ecológica nacional y pone a su disposición instrumentos para su ejecución y desarrollo. Además, faculta a estados y municipios en la prevención y control de las fuentes de contaminación.

Con respuesta a la ley antes mencionada, se decretó la creación de la Comisión Nacional del Agua (CNA), con el propósito de tener un organismo coordinador de los esfuerzos del gobierno federal. Con la finalidad de cubrir los objetivos de prevención y mejoramiento de la calidad del agua, se aprobó la Ley Federal de Derechos, publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1990 sobre el tratamiento para descargas de aguas residuales con el fin de preservar la calidad del agua de los cuerpos receptores.

Actualmente las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas obligatorias que establecen reglas, especificaciones, características, métodos entre otros aplicables a un producto, proceso, instalación o servicio. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) expidió las NOM del Sector Ambiental con el fin de establecer las características y especificaciones, criterios y procedimientos, que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales:

NOM-001-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

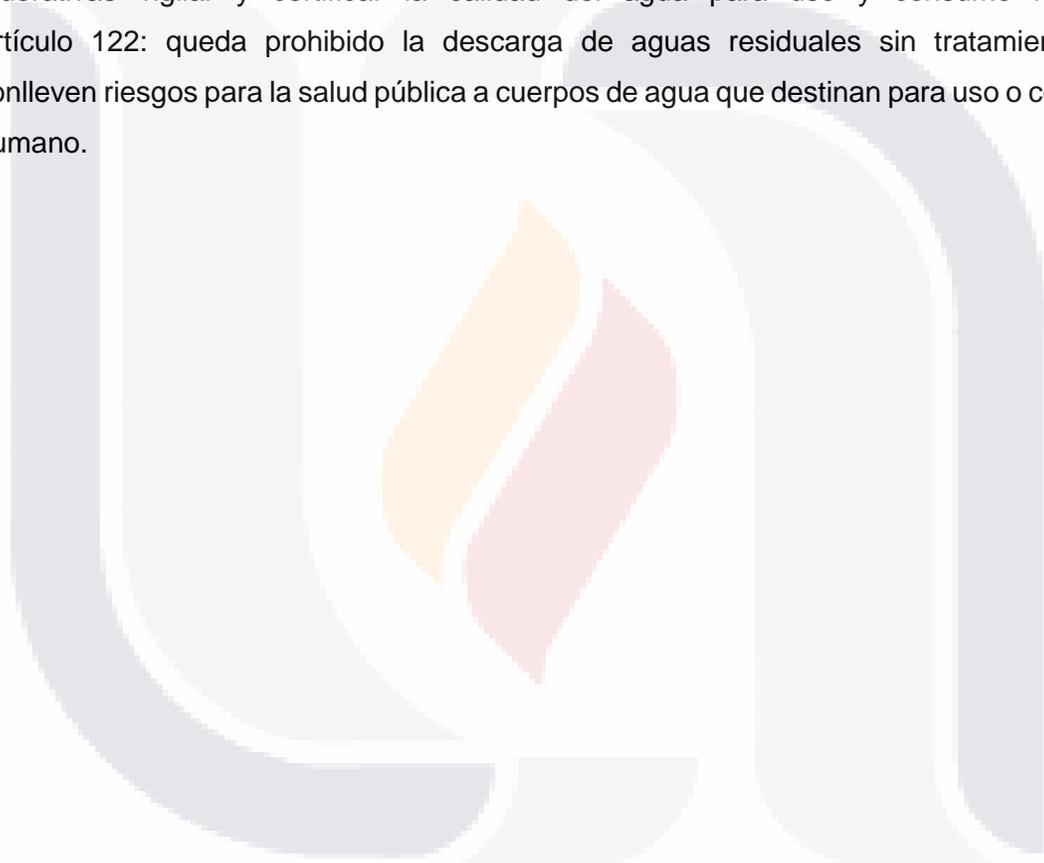
NOM-002-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Ley general de la salud, capítulo IV "Efectos del ambiente en la Salud" artículo 119: corresponde a la Secretaria de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas vigilar y certificar la calidad del agua para uso y consumo humano. Artículo 122: queda prohibido la descarga de aguas residuales sin tratamiento que conlleven riesgos para la salud pública a cuerpos de agua que destinan para uso o consumo humano.



CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción.

El término “contaminar” puede ser definido como la destrucción de la pureza de algo, modificación de las concentraciones de los constituyentes del medio ambiente. Por lo tanto, la contaminación del agua se define como la alteración de las características de un cuerpo de agua, de manera que este deje de ser adecuado para uno o más usos específicos.

Las fuentes de contaminación pueden ser clasificadas en tres clases:

- Municipal.
- Industrial.
- Agropecuaria.

La clasificación de los contaminantes del agua residual puede ser por:

Por su presentación

- Sólidos sedimentables.
- Sólidos en suspensión.
- Sólidos disueltos.
- Sólidos coloidales.

Por su composición

- Sólidos orgánicos (70%).
- Sólidos inorgánicos (30%).

Por sus características:

- Físicos. Sólidos, temperatura, viscosidad, densidad.
- Químicos. Materia orgánica, metales pesados y tóxicos orgánicos.
- Biológicos. Microorganismos patógenos.

Los contaminantes biológicos que contienen dichas descargas pueden causar enfermedades infecciosas, sobre todo en el aparato gastrointestinal y los contaminantes químicos pueden provocar cuadros de toxicidad aguda.

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable, los criterios para su selección deben ser la protección de la salud pública, prevención de la degradación del medio ambiente, el costo y la facilidad de operación y mantenimiento del sistema (CONAGUA, 2016).

Los procesos biológicos para tratamiento de aguas residuales pueden ser anaerobios, aerobios, anóxicos, combinados y anóxicos combinados, los cuales pueden observarse en la tabla 3.

Tabla 3
Procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales

Tipo	Nombre común
Procesos anaerobios	
Biomasa en suspensión	Procesos de contacto anaerobio Digestión anaerobia
Biomasa adherida	Lecho anaerobio fijo
Híbrido	Proceso anaerobio de manto de lodos
Procesos aerobios	
Biomasa en suspensión	Procesos de lodos activados Lagunas aireadas Digestión aerobia
	Filtros rociadores
	Sistemas biológicos Sistemas biológicos de contacto rotatorios
Biomasa adherida	Reactor de lecho empacado
Híbrido (combinación)	Filtros rociadores/lodo activado Humedales artificiales
	Tratamiento con lagunas
	Lagunas anaerobias
	Lagunas facultativas
	Lagunas de maduración

Nota: Tomado de CONAGUA (2016).

Los valores para la eficiencia de remoción de contaminantes se pueden observar en las tablas 4 y 5, los cuales pueden servir para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 4
Eficiencias de remoción para la selección de los procesos de tratamiento

Unidades de tratamiento	Remoción (%)					
	DBO	DQO	SST	P _{total}	N	NH ₃ -N
Reja de barras	0	0	0	0	0	0
Desarenadores	0 a 5	0 a 5	0 a 10	0	0	0
Sedimentación primaria	30 a 40	30 a 40	50 a 65	10 a 20	10 a 20	0
Sedimentación primaria auxiliada químicamente	50 a 80	80 a 90	80 a 90	75 a 90	<30	<30
Lodos activados (convencional)	80 a 95	80 a 85	80 a 90	10 a 25	15 a 50	8 a 15
Zanja de oxidación	75 a 95	-	80 a 90	-	-	40 a 80
Filtros rociadores alta carga, medio natural	65 a 80	60 a 80	60 a 85	8 a 12	15 a 50	8 a 15
Filtros rociadores carga muy alta, medio sintético	65 a 85	65 a 85	65 a 85	8 a 12	15 a 50	8 a 15
Biodiscos	80 a 85	80 a 85	80 a 85	10 a 25	15 a 50	8 a 15
Laguna anaerobia	50 a 85	-	20 a 60	-	-	-
Laguna facultativa	80 a 95	-	70 a 80	30 a 45	70 a 90	
Laguna de maduración	60 a 80	-	-	-	-	-
Filtración	20 a 50	20 a 50	60 a 80	20 a 50	50 a 70	0
Adsorción con carbón activado	35 a 36	50 a 85	50 a 85	50 a 80	10 a 30	30 a 50
Ósmosis inversa	90 a 100	90 a 100	-	90 a 100	90 a 100	60 a 90
Electrodialísis	20 a 60	20 a 60	-	-	80 a 95	30 a 50
Intercambio iónico	0	0	0	0	0	90 a 95

Nota: Tomado de CONAGUA (2016).

Tabla 5
Remoción de microorganismos en diferentes sistemas de tratamiento

Proceso de tratamiento	Remoción (%)			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
Sedimentación primaria	0 a 90	0 a 99	0 a 90	0 a 90
Sedimentación primaria auxiliada químicamente	90 a 99	90 a 99.9	0 a 90	0 a 90
Lodos activados	0 a 99	0 a 99	0 a 90	0 a 90
Biofiltración	0 a 99	0 a 99	0 a 90	0 a 90
Lagunas aireadas	90 a 99	90 a 99.9	90 a 99	0 a 90
Zanjas de oxidación	90 a 99	0 a 99	90 a 99	0 a 90
Desinfección	99 a 99.99	0 a 90	0 a 99.9	0 a 99.9
Lagunas de estabilización	90 a 99.99	90 a 99.9	90 a 99.9	90 a 99.9

Nota: Tomado de CONAGUA (2016).

3.2 Definiciones.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Oxígeno disuelto necesario para que los organismos vivos que se encuentran en el agua descompongan la materia orgánica (Cruz, 2017).

Demanda química de oxígeno (DQO). Oxígeno necesario para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica, utilizado para precisar la concentración de la materia orgánica.

Coliformes fecales. Bacterias que indican la posibilidad de que existan organismos dañinos para el ser humano. Capaces de generar: cólera, hepatitis infecciosa, gastroenteritis, lepra, sarna y fiebre amarilla, entre otras (Cruz, 2017).

Anaerobio. Organismos que no requieren oxígeno para vivir, y procesos que suceden sin la presencia de oxígeno (Cruz, 2017).

Aerobio. Organismos vivos y procesos que tienen lugar en presencia de oxígeno (Cruz, 2017).

Facultativo. Oxidación de la materia orgánica en condiciones aerobias y anaerobias (CONAGUA/IMTA, 2007b).

3.3 Tratamiento preliminar.

Según Rolim (2000), la utilización de unidades de tratamiento preliminar de retención, remoción y/o trituración deben ser utilizadas debido a la presencia de sólidos y partículas en las aguas residuales. Dicho tratamiento puede estar compuesto por rejillas, ya sean gruesas, medias o finas, además de desarenadores.

Las rejillas están formadas por barras metálicas, paralelas, del mismo espesor y separación, cuyo objetivo es la remoción de sólidos suspendidos y cuerpos flotantes, lo cual facilita la protección del equipo de tratamiento. Su cálculo será en base a las pérdidas hidráulicas que están en función de la velocidad de aproximación y la velocidad a través de las barras.

Cada tipo de rejilla varía en sus dimensiones y espaciamiento y se elige en base al objetivo del tratamiento. Dichas características se observan en las tablas 6 y 7.

Tabla 6
Espaciamiento entre rejillas

Tipo	Espaciamiento	
	Pulgadas	Milímetros
Gruesa	Por encima de 1 1/2	40 a 100
Media	3/4 a 1 1/2	20 a 40
Fina	3/8 a 3/4	10 a 20

Nota: Tomado de Rolim (2000).

Tabla 7
Sección transversal rectangular de las barras

Tipo de rejilla	Sección	
	mm x mm	pulg. x pulg.
Gruesa	10 x 50	3/8 x 2
Gruesa	10 x 60	3/8 x 2 1/2
Gruesa	13 x 40	1/2 x 1 1/2
Gruesa	13 x 50	1/2 x 2
Media	8 x 50	5/16 x 2
Media	10 x 40	3/8 x 1 1/2
Media	10 x 50	3/8 x 2
Fina	6 x 40	1/4 x 1 1/2
Fina	8 x 40	5/16 x 1 1/2
Fina	10 x 40	3/8 x 1 1/2

Nota: Tomado de Rolim (2000).

A su vez, las rejillas se clasifican en simples, cuando la limpieza es manual y mecanizadas, cuando la limpieza es automática, cuando la limpieza sea manual deberán tener una inclinación de 45° a 60° con la horizontal, por el contrario, las rejillas de limpieza mecanizada tendrán una inclinación de 60° a 90° con la horizontal (Rolim, 2000).

El área del canal se calcula con la siguiente ecuación.

$$S = \frac{A_u}{E}$$

Donde:

S= Área del canal hasta el nivel del agua, en m².

A_u= Área entre las barras, en m².

E= Eficiencia de la rejilla, en número decimal, la cual se puede obtener de la tabla 8.

Tabla 8
 Eficiencia de las rejillas en función del espesor de las barras

Espesor de las barras (t)	Eficiencia: valores de E			
	a= 3/4" (20mm)	a= 1" (25mm)	a= 1 1/4 (30mm)	a= 1 1/2 (40mm)
1/4" (6mm)	0.750	0.800	0.834	0.857
5/16" (8mm)	0.706	0.768	0.803	0.826
3/8" (10mm)	0.677	0.728	0.770	0.800
7/16" (11mm)	0.632	0.696	0.741	0.774
1/2" (13mm)	0.600	0.667	0.715	0.755

Nota: Tomado de Rolim (2000).

Como consecuencia, se presentará una pérdida de carga en las rejillas debido a la resistencia ofrecida al pasar el agua a través de la rejilla de barras, la cual se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$h_f = k \left(\frac{t}{a}\right)^{4/3} \text{sen}(b) \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga, en m.

k= Factor que depende de la sección transversal de las barras.

a= Espaciamiento entre las barras, en m.

t= Espesor de las barras o mayor dimensión a la dirección normal del flujo, en m.

b= Ángulo que la rejilla hace con la horizontal, en m.

V= Velocidad aguas arriba de la rejilla, en m/s.

g= Aceleración de la gravedad, en m/s.

La tabla 9 presenta los valores para el factor asociado a la sección transversal k.

Tabla 9
 Valores de sección transversal k

Sección	k
Rectangular	2.420
Circular	1.790

Nota: Tomada de Cruz (2017).

El pretratamiento debe de complementarse con la colocación del desarenador, el cual está destinado a retener arena y otros residuos como escombros que pueden causar abrasión u obstrucciones. Las características de diseño se determinan con las fórmulas siguientes.

$$A_t = \frac{Q}{V}$$

$$H = \frac{A_t}{A_p}$$

Donde:

Q= Gasto, en m³/s.

H= Tirante, en m.

A_t= Área de la sección transversal, en m².

A_p= Ancho de la plantilla, en m.

La longitud del desarenador puede determinarse:

$$L = \frac{H(V_h)}{V_s}$$

Donde:

V_h= Velocidad horizontal, en m/s.

V_s= Velocidad de sedimentación, en m/s.

A su vez, la velocidad de sedimentación se calcula de la siguiente manera:

$$V_s = \frac{d(g)}{0.18} \left(\frac{\delta_a - \delta_w}{\eta_w} \right)$$

Donde:

d= Diámetro de la arena, en cm.

g= Constante gravitacional, en cm/s².

δ_w= Densidad del agua, en g/cm³.

δ_a= Densidad de la arena, en g/cm³.

η_w= Viscosidad dinámica del agua, en g/cm.

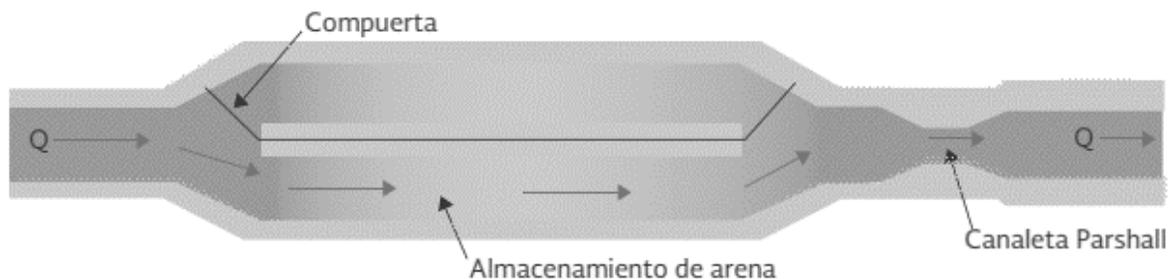


Figura 12 Vista en planta de desarenador. Tomada de CONAGUA (2016).

El pretratamiento debe de contar con un dispositivo para la medición de caudal del agua residual. Los principales tipos de medidores usados son las canaletas Parshall, medidor Venturi, medidor PalmerBowlus, vertederos rectangulares y triangulares.

El medidor Parshall es de fácil construcción y tiene la ventaja de depender de sus propias características hidráulicas. Los parámetros de diseño se observan en las tablas 10 y 11.

Tabla 10
Límites de aplicación para medidores Parshall

	W		Capacidad (l/s)	
	Pulg.	cm	Mínima	Máxima
3	7.60	0.85	53.80	
6	15.20	1.52	110.40	
9	22.90	2.55	251.90	
1	30.50	3.11	455.60	
1 1/2	45.70	4.25	696.20	
2	61.00	11.89	936.70	
3	91.50	17.26	1426.30	
4	122.00	36.79	1921.50	
5	152.50	62.80	2422.00	
6	183.00	74.40	2929.00	
7	213.50	115.40	3440.00	
8	244.00	130.70	3950.00	

Nota: Tomada de Rolim (2000).

Tabla 11
Dimensiones estándar de medidores Parshall en centímetros

W (cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	38.1	7.6	20.3	1.9	2.9
7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	45.7	15.2	30.5	2.5	5.7
15.2	62.1	61	30.5	40.3	53.3	30.5	45.7	3.8	11.4
22.9	88	86.4	45.7	57.5	61	45.7	61	6.9	17.1
30.5	137.1	134.4	61	84.5	91.5	61	91.5	7.6	22.9
45.7	144.8	142	76.2	102.6	91.5	61	91.5	7.6	22.9
61	152.3	149.3	91.5	120.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9
91.5	167.7	164.2	122	157.2	91.5	61	91.5	7.6	22.9
122	182.8	179.2	152.5	193.8	91.5	61	91.5	7.6	22.9
152.5	198	194.1	183	230.33	91.5	61	91.5	7.6	22.9
183	213.3	209.1	213.5	266.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9
213.5	228.6	224	244	303	91.5	61	91.5	7.6	22.9
244	244	239	274.5	340	91.5	61	91.5	7.6	22.9

Nota: Tomada de Rolim (2000).

La configuración de la canaleta Parshall se puede observar en la figura 13.

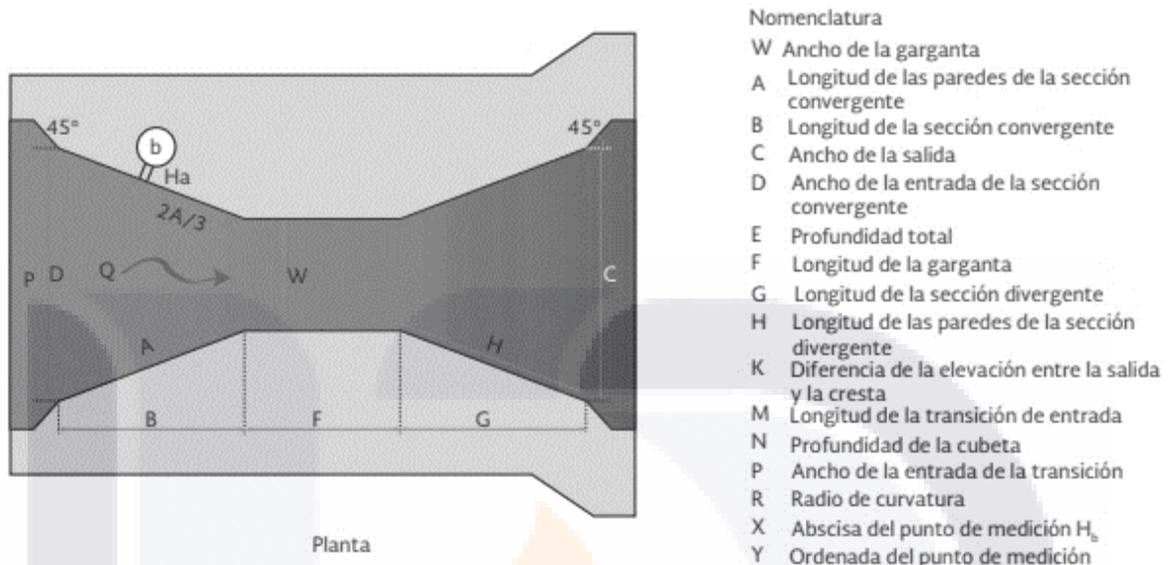


Figura 13 Vista en planta de desarenador. Tomada de CONAGUA (2016).

3.4 Lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización pueden clasificarse de tres formas: de acuerdo al lugar que ocupan, en función del propósito del tratamiento y a la secuencia de unidades del proceso (Rolim, 2000).

Clasificación en función del lugar que ocupan las lagunas. Las lagunas primarias reciben el agua cruda y pueden ser de tipo facultativa o anaerobia, las secundarias reciben agua residual de un estanque primario o cualquier otro proceso de tratamiento y de pulimiento o maduración, las cuales disminuyen la concentración de coliformes fecales y son utilizadas como última parte de un sistema lagunar (CONAGUA/IMTA, 2007a).

Clasificación según la secuencia de las unidades de tratamiento. Esta clasificación abarca dos categorías: en serie o paralelo, la primera categoría es un sistema de tratamiento seguido y la segunda considera un arreglo de tres lagunas: anaerobia, facultativa y maduración como se muestra en la figura 14 (Cortés et al., 2017).

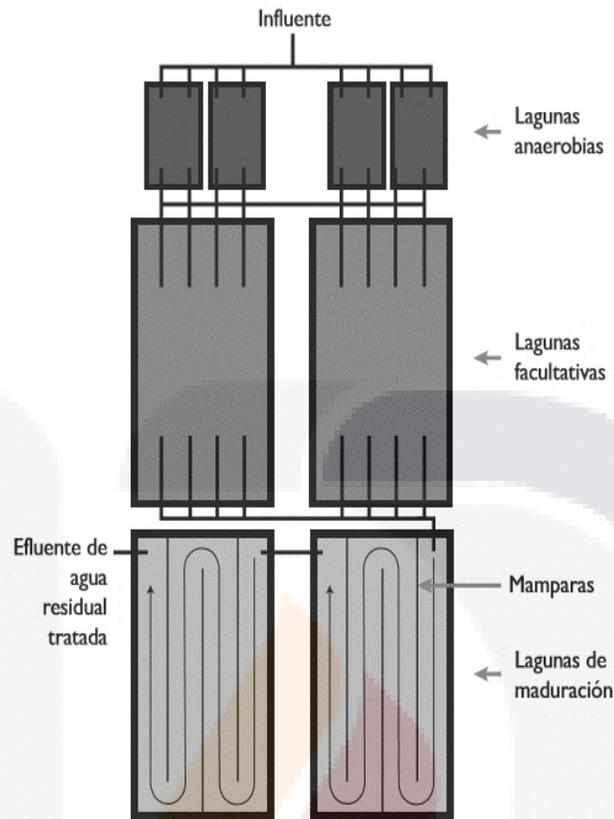


Figura 14 Configuración de lagunas en paralelo. Tomada de Cortés et al. (2017).

Clasificación según el funcionamiento de la laguna de oxidación.

- Lagunas anaerobias. Tienen como objetivo el desbaste de la materia orgánica. Requieren pequeñas áreas, las bacterias, huevos de helminto y protozoarios son depositados en el fondo y removidos por proceso anaeróbico. Su eficiencia está en función del tiempo de retención hidráulico. Para que el tratamiento del agua residual sea correcto no debe de contener oxígeno disuelto en el fondo de la laguna y la temperatura debe ser mayor a 15°C. La profundidad sugerida es de 3.0 a 5.0 metros (Cortés et al., 2017).
- Lagunas facultativas. El tratamiento en este tipo de laguna considera tres zonas: parte superior en condiciones aerobias, parte intermedia donde las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas realizan la descomposición de la materia orgánica y la parte inferior donde los sólidos sedimentados se descomponen por fermentación. Su profundidad va de 1.5 a 2.5 metros (Cortés et al., 2017).

- Lagunas de maduración. Las condiciones del tratamiento son aerobias en toda la laguna. Su objetivo es reducir los coliformes fecales hasta cumplir con la norma vigente de descarga a cuerpos receptores (Cortés et al., 2017).

El tren de tratamiento convencional para lagunas de estabilización se describe en la figura 15.

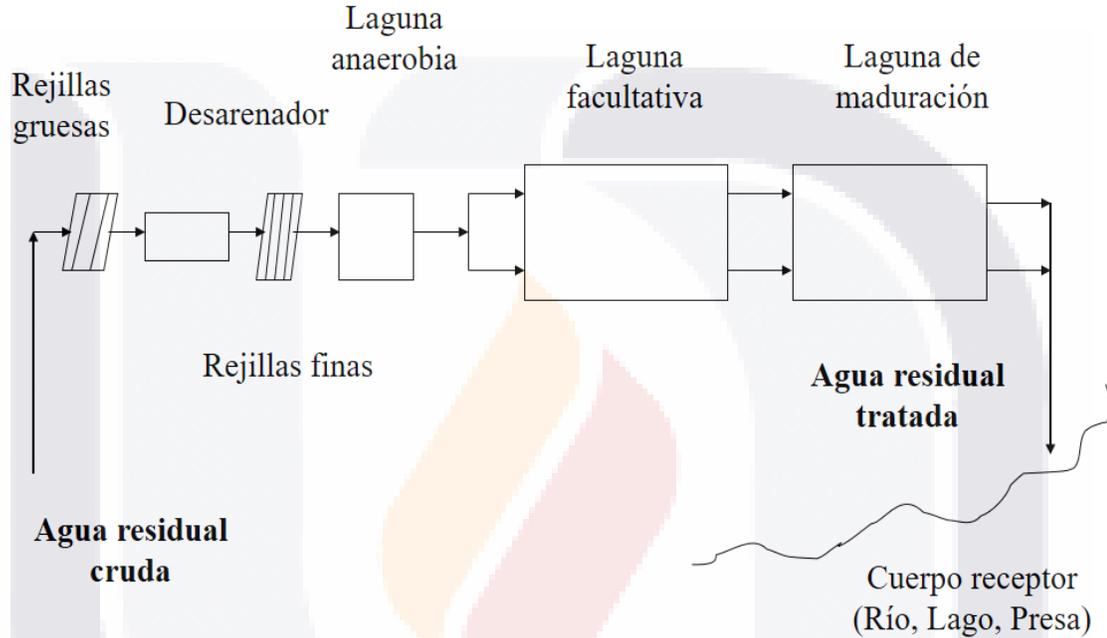


Figura 15 Tren de tratamiento convencional de aguas residuales. Tomada de Cruz (2017).

3.5 Factores hidráulicos que intervienen en las lagunas de oxidación.

Es recomendable que la distribución del agua residual sea uniforme para asegurar que se cumpla con el tiempo de retención proyectado y evitar zonas muertas. Se aconseja usar mamparas en las lagunas facultativas, éstas aumentan la eficiencia en la remoción de contaminantes, aseguran el flujo pistón y eliminan zonas muertas (Cortés et al., 2017).

Los patrones de flujo hidráulico se dividen en dos tipos (Cortés et al., 2017):

1. Flujo pistón. Todos los contaminantes presentes en el agua residual son expuestos al mismo tiempo de retención. Se cumple cuando la relación largo-ancho es mayor a 3.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
2. Mezcla completa. Se presenta cuando la dispersión de contaminantes es mayor o igual a 10. La relación largo-ancho debe ser menor que 1, además su caudal es homogéneo en toda la laguna.
 3. Flujo disperso. Cada elemento del caudal tiene un tiempo de detención distinto para cada periodo. Debe cumplirse una relación largo-ancho de 1 a 3.

3.6 Forma de la laguna.

La forma rectangular de la laguna presenta mejores resultados, además las lagunas facultativas y anaerobias deben cumplir con una relación largo-ancho de 2 ó 3 a 1, en cambio las lagunas de maduración entre 3 y 8 (Cortés et al., 2017).

3.7 Diseño de sistemas lagunares.

Normatividad.

Las normas de carácter obligatorio son las siguientes:

1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (DOF, 1997), detallados en las tablas 12 y 13.
2. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (DOF, 1998 a), como se observa en la tabla 14.
3. La Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público (DOF, 1998b), especificados en la tabla 15.

Tabla 12

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	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)		Humedales naturales (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	N.A.	N.A.	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)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
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	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.

Nota: (1) instantáneo, (2) Muestra Simple Promedio Ponderado, (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006, P.D. promedio diario, P.M. promedio mensual (A), (B), (C) Tipo de cuerpo receptor. Tomado de Diario Oficial de la Federación (1997).

Tabla 13

Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	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)		HUMEDALES NATURALES (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.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4

Nota: () Medidos de manera total, P.D. promedio diario, P.M. promedio mensual (A), (B), (C) Tipo de cuerpo receptor. Tomado de Diario Oficial de la Federación (1997)*

Tabla 14
Límites máximos permisibles

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES			
PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Nota: Tomado de Diario Oficial de la Federación (1997).

Tabla 15
Límites máximos permisibles de contaminantes

TIPO DE REUSO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES				
	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≥ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Nota: Tomado de Diario Oficial de la Federación (1997).

Periodo de diseño.

Según CONAGUA/IMTA (2007d) el periodo de diseño para plantas de tratamiento es de cinco a diez años. Por otro lado, Cruz (2017) propone determinar el periodo de diseño en función del número de habitantes como se muestra en la tabla 16

Tabla 16

Periodo de diseño en función del número de habitantes

Número de habitantes	Periodo de diseño	Número de módulos
<4000	5 años	1
4001 a 15000	10 años	2
15001 a 70000	15 años	3
>70000	20 años	4 mínimo

Nota: tomada de Cruz (2017).

Según CONAGUA/IMTA (2007b) los requisitos para el diseño de sistemas lagunares son:

- Población al horizonte de proyecto.
- Dotación de agua potable.
- Aportación de aguas residuales per cápita.
- Gastos de diseño.
- Caracterización de las aguas residuales por tratar (DBO₅ y coliformes fecales).
- Temperatura y evaporación neta.
- Uso que se tenga programado para el agua residual tratada.
- Disponibilidad del terreno y estudios de mecánica de suelos.

Población de proyecto.

Se debe determinar con el fin de dimensionar el sistema de tratamiento, se debe conocer la población actual y analizar cómo ha crecido. Se puede calcular con la siguiente expresión (Cruz, 2017).

$$P_f = P_3(1 + K_{prom})^{T_d}$$

Donde:

P_f= Población de diseño o población futura.

P₃= Población del último censo.

K_{prom}= Incremento promedio.

T_d= Periodo de diseño.

Gastos de diseño

Dotación de agua potable. Cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando consumos y pérdidas en el sistema, para un día medio anual en l/hab./día (CONAGUA/IMTA, 2007d).

Según la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1979) los valores para la dotación considerando el clima y número de habitantes puede determinarse con la tabla 17.

Tabla 17
Clasificación de climas por temperatura

Temperatura media anual (°C)	Tipo de clima
<22	Cálido
18 a 22	Semicálido
12 a 17.9	Templado
5 a 11.9	Semifrío
>5	Frío

Nota: tomada de Cortez et al. (2017).

Por último, la dotación de agua potable estará dada por el número de habitantes y el clima, como se observa en la tabla 18.

Tabla 18
Dotación de agua potable en función del clima y número de habitantes

Número de habitantes	Dotación de agua potable (l/hab/día)		
	Cálido	Templado	Frío
2500 a 15000	150	125	100
15000 a 30000	200	150	125
30000 a 70000	250	200	175
70000 a 150000	300	250	200
>150000	350	300	250

Nota: tomada de Cortez et al. (2017)

Aportación de aguas residuales.

Volumen diario de aguas negras desalojado por habitante en un día, y representa un porcentaje de la dotación de agua potable, del 75 a 80% de la dotación. (CONAGUA/IMTA, 2007d).

Cálculo de gasto de diseño.

Gasto medio. Caudal de aguas residuales en un día de aportación promedio al año. Está en función del número de habitantes y de la aportación para cada habitante. Se calcula con la expresión:

$$Q_m = \frac{Ap(P)}{86,400}$$

Donde:

Q_m = Gasto medio de aguas residuales, en l/s.

A_p = Aportación de aguas negras, en l/s.

P = Población número de habitantes al horizonte de proyecto.

86,400= Número de segundos por día.

Gasto mínimo. Representa el 50% del gasto medio, se calcula con la fórmula siguiente:

$$Q_{\min} = \frac{Q_m}{2}$$

Donde:

Q_{\min} = Gasto mínimo, en l/s.

Gasto máximo instantáneo. Valor máximo de agua que se presenta en un instante dado, se determina de la siguiente forma:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$$

Donde:

M = Coeficiente de Harmon.

P = Población en miles.

$$Q_{mi} = (M)(Q_m)$$

Donde:

Q_{mi} = Gasto máximo instantáneo, en l/s.

Gasto máximo horario. Aportaciones que consideran el gasto generado por un crecimiento demográfico repentino.

$$Q_{mh} = C_{vh}(Q_{mi})$$

Donde:

Q_{mh} = Gasto máximo extraordinario, en l/s.

C_{vh} = Coeficiente de variación horaria (1.5).

En general, los diseños de plantas de tratamiento de lagunas de oxidación para pequeñas comunidades consideran el gasto medio (Cortés et al., 2017).

Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.

La concentración de DBO_5 puede determinarse mediante muestreo de las aguas residuales, según la normatividad vigente. Cuando no es posible realizar el muestreo y análisis del agua residual, la concentración de la DBO_5 puede hacerse de dos maneras: asignar una contribución de la DBO_5 por habitante y día (40 gramos per cápita), y calcular la proyección de la población a un horizonte de proyecto (Cortez et. al. 2017).

A continuación se mencionan las fórmulas a utilizar.

$$C.O. = \frac{(P)(cont\ DBO_5)}{1,000}$$

Donde:

C.O. = carga orgánica, en kg.

P= población.

$C_{ont\ DBO_5}$ = 54 gr/hab/día según CONAGUA (2017).

Aportación = 80% de la dotación

$$A_p = (\text{dotación}) (0.80)$$

$$DBO_5 \text{ en el influente} = \frac{(C.O.)(1,000)}{Q_{med}}$$

El valor obtenido representa la concentración de diseño del sistema lagunar. Se debe tener en cuenta que el valor de la DBO_5 en el agua residual depende del consumo de agua. A mayor consumo, la materia orgánica es diluida; a menor consumo la DBO_5 es mayor.

La contribución de materia orgánica por persona para ciudades pequeñas es de 45/g/hab/día, para ciudades medianas 60 g/hab/día y para ciudades grandes 75/r/hab/día. (Rolim 2000).

Coliformes fecales.

Se determina mediante el muestro y análisis del agua residual de acuerdo con la normatividad vigente.

Temperatura.

Temperaturas entre 20 y 25 °C generan condiciones óptimas para la producción de oxígeno en las lagunas facultativas. El rango de temperaturas mínimas y máximas donde disminuye la eficiencia es entre 4 y 35 °C, para la fermentación anaerobia se lleva a cabo después de los 22 °C y disminuye debajo de los 15°C (Rolim 2000).

Para el diseño del sistema lagunar debe considerarse la temperatura media del aire del mes más "frio" según la estación meteorológica más cerca del lugar donde se tenga pensado ejecutar el proyecto de tratamiento. El periodo de observación deberá de ser, por lo menos, diez años (Collí et al., 1992).

Evaporación e infiltración.

Determina la reducción del caudal en el efluente de una laguna. Dependen de las condiciones climáticas y geológicas del lugar donde se piense hacer el estudio. La evaporación que debe tomarse para el diseño de un sistema de tratamiento es la tasa neta de evaporación anual y la del mes más cálido (Collí et al., 1992).

Reúso del agua residual tratada.

La calidad del agua residual en el efluente de la planta está en función de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, en la que se establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Localización y disponibilidad del terreno para la construcción de la planta de tratamiento.

Debe existir terreno suficiente y de bajo costo, donde no se esté sujeto a corrientes pluviales, ubicado con respecto a la topografía, en las áreas más bajas tomando como referencia el sistema de alcantarillado y drenaje de toda la ciudad o comunidad para que el gasto fluya por gravedad, además el terreno debe localizarse considerando los vientos dominantes; es decir, no deben dirigirse en dirección a las viviendas, con una separación de 500 a 1000 metros de las zonas habitacionales (Cortés et al. 2017).

3.8 Cálculo de un sistema lagunar en pequeñas comunidades rurales.

Conceptos básicos de diseño.

Carga orgánica superficial de diseño. Masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de área superficial. Se expresa en gKDBO₅/m²día (CONAGUA/IMTA 2007a).

Carga orgánica volumétrica. Masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de volumen y tiempo. Se expresa en kgDBO₅ o DQO/m³día (CONAGUA/IMTA 2007a). La tabla 19 muestra los valores de la carga volumétrica en función de la temperatura de la zona.

Tabla 19
Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Carga volumétrica (gDBO ₅ /m ² día)	Remoción de DBO (%)
<22	100	40
10 a 20	20T - 100	2T + 20
>20	300	60

Nota: tomada de Cortez et al., 2017

Tiempo de retención hidráulico. Tiempo en donde el agua permanece en el tratamiento biológico, se expresa en días.

Ecuaciones de diseño de lagunas de estabilización.

Para la laguna anaerobia se calcula de acuerdo al método de Marais, para la facultativa flujo disperso.

Laguna anaerobia.

La carga orgánica se determina:

$$C.O. = \frac{Q_i DBO_i}{1,000}$$

Donde:

Q_i = Gasto en el influente, en m³/día.

DBO₅ = Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada del estanque, en mg/l.

1,000= Factor de conversión.

Carga volumétrica de diseño.

$$\lambda_v = 20 (T) - 100$$

Donde:

λ_v = Carga orgánica volumétrica, en gDBO_i/m³ día.

T = Temperatura mínima mensual del mes más frío, en °C.

Remoción de la DBO₅.

$$\%DBO_{\text{removido}} = 2T + 20$$

Para poder calcular el tiempo de retención hidráulico se debe determinar el volumen de la laguna.

$$V_a = \frac{L_i Q_i}{\lambda_v}$$

Donde:

V_a = Volumen, en m³.

L_i = Concentración de la materia orgánica (DBO) en la entrada del estanque, en mg/l.

Q_i = Gasto en el influente, en m³/día.

Área de la laguna.

Profundidad recomendada Z = de 2.0 a 4.0 m.

$$A_a = \frac{V_a}{Z}$$

Donde:

A_a = Área de la laguna, en m².

El tiempo de retención hidráulico.

$$TRH = \frac{V_a}{Q_i}$$

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulico, en días.

Los lodos en lagunas anaerobias deben removerse de 2 a 5 años, en las facultativas de 5 a 10 años, o cuando el volumen de la laguna disminuya un 30% para evitar la acumulación de lodos que acorta el tiempo de retención hidráulico y reduce la eficiencia del sistema (Oakey, 2005).

Para el dimensionamiento de la laguna se debe considerar una relación largo-ancho x igual a 2 (Cortés et al. 2017).

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{Aa}{x}}$$

Donde:

B_{prom} = Ancho promedio de la laguna, en m.

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}}$$

Donde:

L_{prom} = Longitud promedio del estanque anaerobio, en m.

$$B_{sup} = B_{prom} + Z(\text{talud})$$

Donde:

B_{sup} = Ancho superior del estanque anaerobio, en m.

Z = Profundidad, en m.

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(\text{talud})$$

Donde:

L_{sup} = Largo superior del estanque, en m.

$$A_{sup} = B_{sup} L_{sup}$$

Donde:

A_{sup} = Área superficial, en m².

Laguna facultativa.

Para su diseño se consideran los resultados de la laguna anaerobia (CONAGUA/IMTA, 2007a, 2007b).

La carga superficial se determina con la siguiente ecuación.

$$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$$

Donde:

λ_s = Carga orgánica superficial, en kfDBO₅/ha*día.

T = Temperatura media mensual mínima del aire, en °C.

Área de la laguna facultativa:

$$A_f = \frac{10L_i Q_{med}}{\lambda_s}$$

Donde:

L_i = DBO₅ en influente, en mg/L.

A_f = Área del estanque facultativo, en m².

Q_{med} = Gasto medio, en m³/día.

Volumen de la laguna:

$$V = A_f Z$$

Donde:

V = Volumen, en m³.

Z = Profundidad del estanque, se considera entre 1.5 a 1.8m.

Para evitar zonas muertas, se sugiere una relación lago-ancho de 3. Para determinar el promedio del ancho y la longitud, el ancho y largo superior se utilizan las expresiones antes mencionadas. El talud de los bordos será 2:1 (Cortés et al, 2017).

Según Rolim (2000) el presupuesto debe acercarse al máximo a la realidad, la estimación de los volúmenes de tierra que deben excavar resulta complicado, por lo que se debe definir el tipo de suelo y optimizar la relación corte/relleno. La cantidad de personas necesarias para el control de las lagunas esta dado en función de la población servida, lo cual se puede observar en las tablas 20 y 21

Tabla 20

Equipo necesario para la operación y mantenimiento de lagunas de estabilización

Población servida por laguna (hab.)	Personal	
	Supervisor	Ayudantes
5000	-	2
10000	-	3
50000	1	6
100000	1	8
200000	1	8

Nota: tomada de Rolim, 2000

Tabla 21

Equipo necesario para operación y mantenimiento de sistemas de lagunas de estabilización y aireadas

Personal	Población (hab.)					
	≤ 10,000		20,000 a 50,000		100,000	
	Laguna facultativa	Laguna aireada	Laguna facultativa	Laguna aireada	Laguna facultativa	Laguna aireada
Administración						
Ingeniero Sanitario	-	-	1/2	1/2	1	1
Secretaria	-	-	1/2	1/2	1	1
Auxiliar/Mensajero	-	-	1	1	1	1
Conductor	-	-	1	1	1	1
Operación y mantenimiento						
Ingeniero jefe	1/4	1/4	1/2	1/2	1	1
Químico	-	-	1/4	1/4	1/2	1/2
Laboratorista	-	-	1/2	1/2	1	1
Mecánico/Electricista	-	-	-	1/2	-	1
Operador del turno 08-16 h	1	1	1	1	1	1
Operador del turno 16-24 h	-	-	-	1	1	1
Operador del turno 24-08 h	-	-	-	1	-	1
Trabajador peón	2	2	2 a 6	2 a 7	8	10

Nota: tomada de Rolim, 2000

3.9 Laguna aireada.

Según Rolim (1999) las lagunas aireadas mecánicamente se asemejan a las lagunas de estabilización con la diferencia de que, en las primeras, la introducción del oxígeno es por medio de equipos de aireación, además suelen tener una menor área superficial debido a la profundidad requerida para el correcto desempeño del equipo de aireación, entre 3 y 5m. Representan una buena opción para el tratamiento de aguas residuales domésticas de ciudades pequeñas y medianas con desechos orgánicos de origen industrial. Se pueden clasificar en 3 tipos:

1. Aerobia con mezcla completa. Una de las opciones más utilizadas, los sólidos sedimentables se mantienen en suspensión, la edad del lodo es igual al tiempo de retención hidráulico y remueve del 50 a 60% del DBO₅.

2. Facultativa. No se tiene control de los sólidos, una parte se sedimenta en su parte inferior, su potencia es limitada y la edad del lodo es mayor que el tiempo de retención hidráulico. La remoción del DBO_5 varía del 70 al 90%.
3. Con aireación extendida o maduración. En este tipo se tiene un total control de los sólidos, presenta buena relación potencia/volumen al igual que las lagunas aireadas aerobias y remueve entre un 95 y 98% de DBO_5 . A su vez se clasifican en 4 grupos: con sedimentación independiente, con compartimiento de sedimentación en la propia laguna, del tipo intermitente y del tipo aireación/sedimentación en la misma laguna.

Las principales características de los tipos de lagunas aireadas se detallan en la tabla 22 y las figuras 16 y 17.

Tabla 22
Tipos de lagunas aireadas, principales características

Características generales	Mezcla completa	Facultativa aireada	Maduración aireada
TRH	2-7 días	10-15 días	7-20 días
Suministro de oxígeno	Artificial	Artificial	Fotosintético
Acumulación de lodos	Ninguno	Alta	Alta
Densidad de energía	20 w/m ²	2-4 w/m ²	0.1 w/m ²
Modelo matemático de diseño	Empírico	Empírico	Empírico
Condiciones de aplicación	Climas fríos y cálidos	Climas cálidos	Climas cálidos
Tipo de biomasa	Bacteriana	Bacteriana	Algal

Nota: tomada de Cruz (2017)

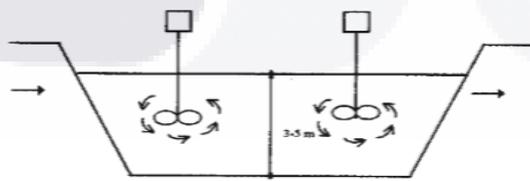


Figura 16 Laguna aireada aerobia de mezcla completa. Tomada de Rolim (1999).

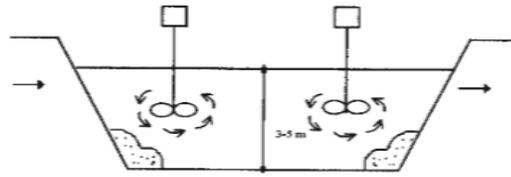


Figura 17 Laguna aireada facultativa. Tomada de Rolim (1999).

Las lagunas aireadas aerobias con mezcla completa en comparación con las lagunas aireadas facultativas presentan mayor eficiencia en relación a un mismo periodo, ausencia de algas y menor área superficial, como desventaja se tiene que presentan mayor concentración de sólidos biológicos en el efluente y mayor consumo de energía eléctrica.

En las lagunas aireadas mecánicamente, la introducción de oxígeno puede realizarse de distintas formas:

1. Aire difuso. El proceso es realizado mediante aspersores especiales, discos cerámicos porosos que reciben el aire por medio de tuberías a presión colocadas en el fondo de la laguna, son utilizados en plantas de tratamiento de lodos activados.
2. Turbina de aireación. Se realiza mediante la introducción de aire en tubos difusores instalados en el fondo de la laguna y debajo de los dispositivos de rotación de los rotores de láminas. Poco aceptado en la actualidad.
3. Aireadores superficiales. Son dispositivos rotativos levemente sumergidos en el agua que esparcen el agua por encima de la superficie. El movimiento de la superficie del agua, las burbujas de aire arrastradas, la difusión del agua en forma de gotas y la mezcla aire-líquido en las cercanías del aireador permiten la transferencia mecánica de oxígeno. A su vez se pueden clasificar en: aireadores con eje horizontal, indicados para tanques poco profundos, los aireadores lentos tipo cono, recomendados para pequeñas y medianas potencias instaladas y los aireadores rápidos tipo turbina, utilizados en grandes y medianas potencias instaladas.

Los mecanismos antes mencionados se muestran en la figura 18.

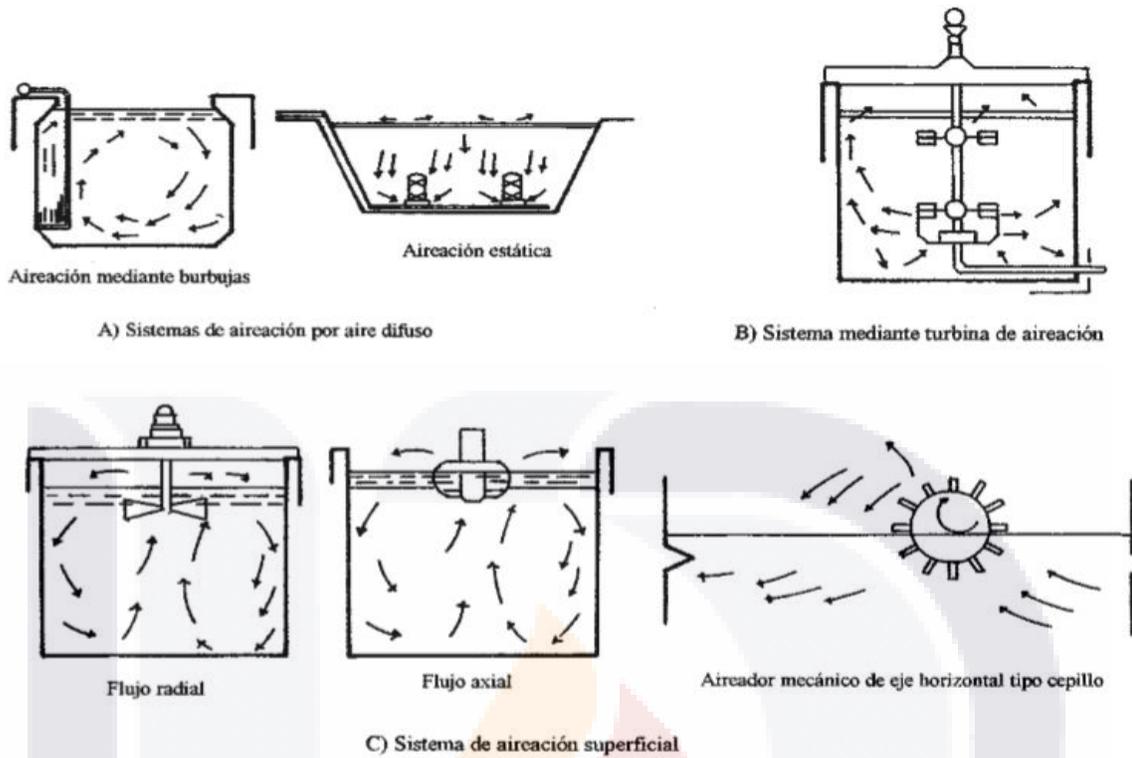


Figura 18 Esquemas de tipos de aireación, tomada de Rolim (1999).

3.10 Dimensionamiento de aireadores superficiales.

La tasa de transferencia de oxígeno en el campo, N, es dada por la siguiente ecuación:

$$N=N_0\left[\alpha\left(\frac{\beta C_{sw}-C_L}{C_{st}}\right)\right] 1,024^{(T-20)}$$

Donde:

N= Tasa de transferencia de oxígeno en el campo, en kgO₂/kwh.

N₀= Tasa de transferencia de oxígeno mediante prueba en condiciones estándares, a 20°C y oxígeno disuelto igual a cero, en kgO₂/kwh. Varía de 1.5 a 2.0 kgO₂/kwh.

α= 0.7 para aguas residuales domésticas.

β= 0.9 para aguas residuales domésticas.

C_{sw}= Valor de saturación del oxígeno en el agua pura a una temperatura dada, en mg/l.

C_L= Concentración de oxígeno disuelto en las lagunas, varía de 0.5 a 2.0 mg/l.

C_{st}= Valor de saturación del oxígeno en el agua a 20°C al nivel del mar, 9.17 mg/l.

T= Temperatura media anual, en °C.

Se debe realizar la corrección del valor de saturación de oxígeno en el agua pura C_{sw} , a una determinada temperatura, en función de la altitud.

$$C'_{sw} = C_{sw} \left(\frac{P_A - p}{760 - p} \right)$$

Donde:

P_A = Presión barométrica como se muestra en la tabla 24, en mmHg.

P = Presión de vapor de agua saturada a temperatura de las aguas residuales mostrada en la tabla 23, en mmHg.

Tabla 23
Presión de vapor de agua saturada para distintas temperaturas

Temperatura en °C	Concentración de Cloruro en agua (mg/l)			Diferencia por 100mg de Cloruro	Temperatura en °C	Presión del vapor (mm)
	0	5000	10000			
Oxígeno disuelto (mg/l)						
0	14.6	13.8	13	0.017	0	5
1	14.2	13.4	12.6	0.016	1	5
2	13.8	13.1	12.3	0.015	2	5
3	13.5	12.7	12	0.015	3	6
4	13.1	12.4	11.7	0.014	4	6
5	12.8	12.1	11.4	0.014	5	7
6	12.5	11.8	11.1	0.014	6	7
7	12.2	11.5	10.9	0.013	7	8
8	11.9	11.2	10.6	0.013	8	8
9	11.6	11	10.4	0.012	9	9
10	11.3	10.7	10.1	0.012	10	9
11	11.1	10.5	9.9	0.011	11	10
12	10.8	10.3	9.7	0.011	12	11
13	10.6	10.1	9.5	0.011	13	11
14	10.4	9.9	9.3	0.01	14	12
15	10.2	9.7	9.1	0.01	15	13
16	10	9.5	9	0.01	16	14
17	9.7	9.3	8.8	0.01	17	15
18	9.5	9.1	8.6	0.09	18	16
19	9.4	8.9	8.5	0.09	19	17
20	9.2	8.7	8.3	0.09	20	18
21	9	8.6	8.1	0.09	21	19
22	8.8	8.4	8	0.08	22	20
23	8.7	8.3	7.9	0.08	23	21
24	8.5	8.1	7.7	0.08	24	22
25	8.4	8	7.6	0.08	25	24

Nota: tomada de Rolim (1999)

Tabla 24
Presión barométrica versus altitud

Altitud (m)	Barómetro (mm Hg)
0	760
305	733
610	706
914	681
1219	656
1524	632
1829	610
2438	566
3048	526
3658	487
4267	454

Nota: tomada de Rolim (1999)

3.11 Dimensionamiento de un sistema en serie de una laguna aerobia con mezcla completa seguida de una facultativa.

Laguna aireada aerobia con mezcla completa.

La concentración del efluente de la laguna aireada aerobia con mezcla completa y del influente de la laguna aireada facultativa S_i en mg/l, se determina:

$$S_i = \frac{k_d}{Yk} + \left(\frac{X_{v,a(2)} S_e}{Y} \right)^{0.5}$$

Donde:

$X_{v,a(2)}$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSVTA) en la masa líquida de la laguna aireada facultativa, en mg/l. varía de 50 a 100 mg/l.

S_e = Concentración de material biodegradable (DBO₅, DQO, COT) en el efluente, en mg/l. Se toma un valor entre 20 y 30 mg/l.

El tiempo de retención de la laguna t_1 en días se obtiene con la siguiente ecuación:

$$t_1 = \frac{1}{YkS_L - k_d}$$

Donde:

t_1 = Tiempo de retención de la laguna aireada aerobia con mezcla completa, en días.

Y = Coeficiente de producción de lodos, en kgSSVTA/kgDBO₅.

k_d = Tasa constante relativa a la respiración endógena, en día⁻¹.

El tiempo de retención mínimo t_{min} para desechos domésticos está dado por 0.5 días.

Para la determinación de la concentración de sólidos suspendidos volátiles en la masa líquida de la laguna (SSVTA) y en el efluente se calcula de la siguiente forma:

$$X_{v,a(1)} = \frac{Y(S_o - S_e)}{1 + k_d t}$$

Donde:

$X_{v,a(1)}$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en la masa líquida de la laguna y el efluente, en mg/l.

S_o = Concentración de materia biodegradable en el efluente (DBO₅, DQO, COT), mg/l.

t = Tiempo de retención de la laguna aireada aerobia con mezcla completa, en días.

El volumen de la laguna V en m³ está dado por la siguiente ecuación:

$$V = Q_m t$$

Donde:

Q_m = Caudal medio del influente y efluente, en m³/día.

El oxígeno necesario O_2 g/día, se calcula de la siguiente manera:

$$O_2 = a(S_o - S_e)Q_{med} + bX_{v,a(1)}V$$

Donde:

a =Fracción del substrato removido utilizado para la producción de energía, en kgO₂/kgDBO₅. Varía de 0.30 a 0.63 para agua residual doméstica.

b = Oxígeno necesario para la respiración endógena en la masa líquida de la laguna. Varía entre 0.05 y 0.28, en kgO₂/kgSSVTA día.

La potencia total necesaria P_t en kw se determina con la siguiente ecuación:

$$P_t = \frac{O_2}{24N} 10^{-3}$$

La potencia unitaria de aireación P en W/m³, se estima de la siguiente manera:

$$P = \frac{P_t}{V} 10^3$$

Laguna aireada facultativa.

Para el cálculo del tiempo de retención de la laguna aireada facultativa t_2 , la ecuación cambia de la siguiente forma:

$$t_2 = \frac{S_L - S_e}{kX_{v,a(2)} - S_e}$$

Se debe calcular el total de sólidos en el efluente del sistema formados en la laguna aireada aerobia con mezcla completa, cuya formación es debida a la composición inicial y al tiempo de retención total en el sistema X_1 .

$$X_1 = S_n + X_{v,a(1)} + X_{v,a(2)}$$

Donde:

S_n = Concentración de sólidos suspendidos no biodegradables en el sistema, en mg/l. Se recomienda 60 mg/l.

La concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSVTA) en el efluente del sistema $X_{v,a(n)}$ en mg/l se cómo se detalla a continuación.

$$X_{v,a(n)} = (X_1)_n \frac{X_{v,a(1)}}{X_1}$$

Donde:

$(X_1)_n$ = Concentración máxima de sólidos suspendidos en el efluente de un sistema de lagunas aireadas facultativas en serie, mg/l. Se recomienda un valor de 25mg/l.

La concentración real de DBO_5 en el efluente del sistema S'_e en mg/l se obtiene con la siguiente expresión:

$$S'_e = S_e - 0.85[X_{v,a(n)}]$$

El oxígeno necesario O_2 , en g/día se calcula con la ecuación:

$$O_2 = B(S_1 - S_2)Q_m$$

La potencia total necesaria P_t y la potencia unitaria de aireación P se calculan con las ecuaciones antes mencionadas.

3.12 Tratamiento de aguas residuales mediante procesos aerobios.

Sedimentador primario.

La sedimentación primaria se refiere a los tanques que reciben aguas residuales crudas que posteriormente pasarán por un tratamiento biológico. Los tanques pueden ser de forma rectangular o circular. Los datos a considerar para esta parte del tratamiento son la carga superficial, la cual se refiere a la relación entre el gasto a tratar y el área de la superficie total disponible, carga hidráulica sobre vertedores, parámetro que relaciona el gasto a tratar y la longitud del vertedor, tiempo de retención, carga de sólidos, que describe la cantidad de kilos de sólidos por metro cuadrado que entran al sedimentador por día y la eficiencia de remoción de sólidos.

Los tanques de sedimentación pueden ser de tipo rectangular y circular, con un tiempo de retención de 1 a 3 horas, siendo 2 horas el más común. En tanques circulares el agua residual entra por una tubería vertical y el flujo es radial en dirección al vertedero perimetral de salida. El tanque cuenta con una barredora de lodos que los dirige hacia la tolva colocada al centro, los sólidos flotantes migran hacia el borde del tanque y son retenidos mediante una pantalla. Un desnatador adherido a los brazos de la barredora de lodos recogen la espuma y natas que son llevadas al canal de espumas para drenarlas, su diámetro generalmente es menor a 60 m. Este tipo de tanque es el más utilizado por ser de composición más sencilla en cuanto a la barredora de lodos.

Los parámetros básicos de diseño de tanques de sedimentación primaria de aguas residuales se revisan en la tabla 25.

Según López (2003), la eficiencia de remoción en los sedimentadores circulares varía de 50 a 65% para sólidos sedimentables y de 25 a 35% para DBO_5 . En aguas residuales de origen doméstico, la relación empírica entre eficiencias de remoción de sólidos y carga hidráulica superficial se indican en la tabla 26.

Tabla 25
Principales características según distintos autores

Referencias	Carga superficial m/día	Tiempo de retención h	Profundidad m	Carga sobre el vertedero l/s*m
Metcalf & Eddy, Inc.	32 a 48	1.5 a 2.5	3 a 5	1.4 a 5.8
Normas de los diez estados	14	-	>2.1	<2.2
Manual de diseño naval	49	-	3	<14
Ejército Estados Unidos de América	12 a 41	2.5	2.5 a 4.5	0.7 a 1.7
Steel y McGhee	24 a 60	1 a 2	1 a 5	-
Fair et al.	-	2	3	-
Sundstrom y Klei	-	1 a 4	-	-
USEPA	24 a 49	-	3 a 5	-
Tchobanoglous y Schroeder	30 a 60	-	3 a 5	-
IWPC	30 a 45	2	>1.5	1.2 a 5.2

Nota: tomada de CONAGUA (2016)

Tabla 26
Relación empírica entre remoción de sólidos y carga hidráulica superficial

Carga hidráulica superficial CHS (l/s/m ²)	0.2	0.3	0.4	0.6
Eficiencia (%)	71	66	61	51

Nota: tomada de López (2003)

Según CONAGUA (2016), la velocidad del flujo debe ser menor a 2.5cm/s para prevenir la suspensión de sólidos. Por otra parte, López (2003) menciona que la velocidad de flujo máxima en la vecindad de los vertedores debe encontrarse entre 0.10 y 0.20cm/s.

Para tanques de extracción de lodos manual, se debe proveer un almacenamiento adecuado de lodos con una pendiente del 2.5% en el piso del tanque para facilitar su limpieza. La extracción de lodos debe hacerse por lo menos una vez a la semana en tanques de sedimentación primaria de limpieza manual.

Filtros rociadores o percoladores.

Están conformados por un tanque que contiene material natural o sintético, en cuya superficie del lecho, se forma una biopelícula responsable de la degradación de la materia orgánica que contiene el agua residual que se rocía en la parte alta del filtro, mediante un brazo giratorio perforado, que pasa a través del lecho filtrante.

Los microorganismos se adhieren al soporte al pasar el agua a través de él, manteniéndose una buena ventilación para favorecer su crecimiento. Cuando la biopelícula alcanza un

grosor cercano a los 2 ó 3mm, se desprende y se sedimenta en un tanque clarificar secundario.

La formación de biopelícula en los filtros percoladores se da en tres fases, la primera es cuando se da la degradación aerobia de la materia orgánica en la capa exterior de la biomasa y en la fracción en contacto con el medio, la segunda fase tiene lugar durante el crecimiento de la biomasa, incremento en su espesor y disminución en la disponibilidad de alimento, por último, la tercera base donde se da un metabolismo endógeno en capas interiores de la biomasa y pérdida de fijación en el medio, la biomasa se desprende.

La ventilación dentro del filtro es por gravedad debido al diferencial de temperatura entre el agua residual y el medio ambiente, esto provoca un cambio de densidad que establece una corriente de convección.

Los filtros pueden ser naturales o sintéticos. Dentro de los naturales se encuentra la piedra bola de río, grava, tezontle, escoria y el carbón granular. Los filtros sintéticos pueden ser de esferas de plástico o monturas. Dicho material debe ser ligero y resistente a la corrosión del agua, pero apropiado para que los microorganismos se adhieran a él.

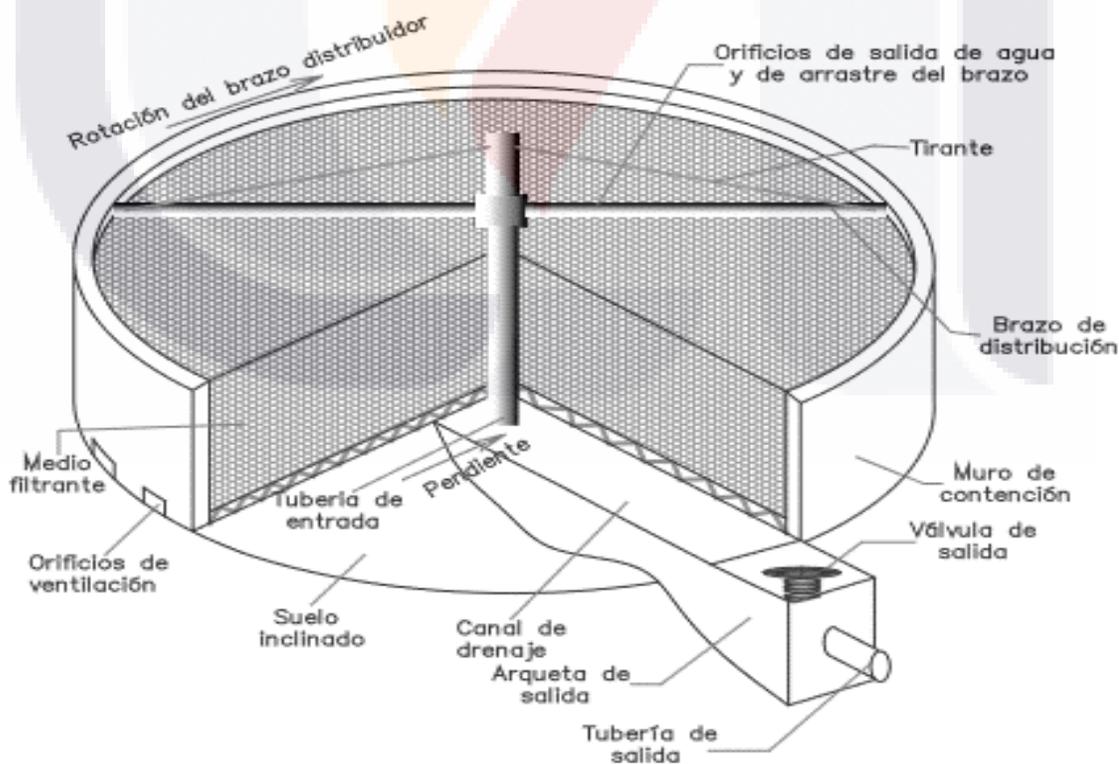


Figura 19 Esquema de un filtro percolador, tomada de CONAGUA (2016).

Los componentes típicos de un sistema de tratamiento a base de filtros rociadores son el pretratamiento, sedimentador primario, filtro rociador, sedimentador secundario y tanque de contacto de cloro. Entre las ventajas de utilizar este tipo de tratamiento se tiene que remueve cerca del 90% de DBO₅ y nutrientes, el costo de inversión es menor que otros sistemas convencionales, resiste variaciones de carga orgánica e hidráulica, menores costos de operación y mantenimiento comparado con el sistema de lodos activados, resiste mejor la entrada de compuestos tóxicos y moderado consumo de energía (CONAGUA, 2013).

Al diseñar un filtro rociador se deben considerar tanto las cargas orgánicas como hidráulicas y el grado de purificación deseado en el efluente.

Se han desarrollado a lo largo del tiempo una serie de ecuaciones para predecir el funcionamiento de los filtros como la fórmula de Veltz que relaciona la DBO aplicada a la DBO esperada con la profundidad del filtro, la fórmula de Eckenfelder basada en la simulación de filtros rociadores en modelos de laboratorio, y las fórmulas del National Reserch Council (NRC) resultado de un análisis extensivo de registros de operación de filtros percoladores de piedra en instalaciones militares de Estados Unidos de América que se basa en la cantidad de contacto entre el medio de soporte y la materia orgánica, así, la eficiencia del filtro es la combinación del contacto y la carga orgánica aplicada.

La eficiencia se determina de la siguiente forma:

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0.4432 \left(\frac{W_1}{VF} \right)^{0.5}}$$

$$E_2 = \frac{100}{1 + 0.4432 \left(\frac{W_2}{VF} \right)^{0.5}}$$

Donde:

E₁= Eficiencia de remoción de DBO₅ del filtro percolador en la primera etapa, en %.

W₁= Carga de DBO₅ al filtro de la primera etapa, no incluye recirculación, en kg/día.

V= Volumen del filtro (área superficial por la profundidad del medio), en m³.

F= Factor de recirculación, número de pasos de la materia orgánica.

E_2 =Eficiencia de remoción de DBO después del filtro percolador de la segunda etapa, en %.

W_2 = Carga de DBO que llega al segundo filtro percolador, en kg/d.

$$F = \frac{1 + \frac{R}{Q}}{\left(1 + \frac{(1-P)R}{10}\right)^2}$$

Donde:

R/Q = Relación de recirculación (gasto de la recirculación/gasto afluente a la planta).

P = Factor de peso, para la planta de filtros percoladores es de 0.9.

Se entiende por carga hidráulica la cantidad de agua residual en términos de metros cúbicos por día por hectárea de superficie del lecho filtrante. De acuerdo con lo anterior, los filtros rociadores se pueden dividir en filtros rápidos, normales y lentos. En la tabla 27 se detalla la clasificación de los filtros por carga hidráulica.

Tabla 27
Clasificación de los filtros rociadores por carga hidráulica

Filtros Rápidos m ³ /Hadía	Filtros Normales m ³ /Hadía	Filtros Lentos m ³ /Hadía
258000 a 95000	38000 a 19000	< 19000

Nota: tomada de Cruz (2017)

Se entiende por carga orgánica la cantidad kilogramos de DBO₅ que recibe el filtro por día por metro cúbico del medio filtrante. En base a la definición anterior, se puede clasificar a los filtros en rápidos y lentos, lo cual se puede observar en la tabla 28.

Tabla 28
Clasificación de los filtros rociadores por carga orgánica

Filtros Rápidos kg de DBO/m ³ día	Filtros Lentos kg de DBO/m ³ día
4.8 a 0.4	0.4 a 0.08

Nota: tomada de Cruz (2017)

Los parámetros más comunes de diseño y operación se pueden observar en la tabla 29.

Tabla 29
Criterios de diseño típicos para filtros percoladores

Parámetro	Baja Carga	Carga Intermedia	Carga Alta	Carga Muy Alta
Carga hidráulica m ³ /m ² día	1 a 4	4 a 10	10 a 40	40 a 200
Carga orgánica Kg de DBO ₅ /m ³ día	0.07 a 0.22	0.24 a 0.48	0.4 a 2.4	0.6 a 3.2
Profundidad m	1.8 a 2.4	1.8 a 2.4	1.8 a 2.4	3.0 a 12.2
Recirculación	0	0 a 1	1 a 2	1 a 2
Potencia, kW/10 ³ m ³	2 a 4	2 a 8	6 a 10	6 a 10
Medio filtrante	Piedras, escoria	Piedras, escoria	Piedras, escoria	Sintéticos
Eficiencia de remoción DBO ₅ %	80 a 90	50 a 80	50 a 90	60 a 90
Efluente	Totalmente nitrificado	Parcialmente nitrificado	Nitrificado a cargas bajas	Nitrificado a cargas bajas

Nota: tomada de Cruz (2017)

Sedimentador secundario.

Los sedimentadores secundarios son utilizados para remover sólidos sedimentables producidos en los procesos de tratamiento biológico. De igual forma que el sedimentador primario, los sedimentadores secundarios pueden ser circulares y rectangulares. Cabe mencionar que para el diseño de este tipo de sedimentadores se debe considerar el tipo de tanque deseado, carga hidráulica superficial, carga de lodos, velocidad de flujo, carga hidráulica sobre vertedores y recolección de material flotante (López, 2003).

Como resultado de la remoción de contaminantes del agua residual se generan subproductos como basura, arena y lodos. Los lodos provienen de las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario, su producción depende del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta, en el sedimentador primario se generan los lodos primarios. Los lodos secundarios se producen en reactores biológicos y se separan en el sedimentador secundario.

Según Limón (2013), la calidad y características de los lodos depende de su origen, tiempo de retención y tipo de tratamiento recibido, en la tabla 30 se puede observar las características y cantidades de lodo típicas de distintos procesos de tratamiento.

La producción de lodos en una planta de tratamiento deberá estar normada por la NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, y la NOM-083-SEMARNAT-2003,

especificaciones de protección, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Tabla 30
Características y cantidades de lodo típicas para diferentes procesos de tratamiento

Proceso	Gravedad específica sólidos	Gravedad específica lodo	Producción de sólidos secos, kg/1000 m ³
Sedimentación primaria	1.4	1.2	110 a 170
Lodos activados	1.25	1.005	70 a 100
Filtro biológico	1.45	1.025	60 a 100
Aireación extendida	1.3	1.015	80 a 120
Laguna aireada	1.3	1.01	80 a 120
Filtración	1.2	1.005	12 a 24
Remoción algal	1.2	1.005	12 a 24
Sedimentación primaria con adición de cal (350-500 mg/l)	1.9	1.04	240 a 400
Sedimentación primaria con adición de cal (800-1600 mg/l)	2.2	1.05	600 a 1300
Desnitrificación con biomasa	1.2	1.005	12 a 30

Nota: tomada de Limón (2013)

Para que los lodos y biosólidos puedan ser aprovechados deben de cumplir con las especificaciones descritas en las tablas 31, 32 y 33.

Tabla 31
Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Nota: tomada del Diario Oficial de la Nación (2003)

Tabla 32

Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	<1000	< 3	< 1
B	<1000	< 3	< 10
C	< 2000000	< 300	< 35

Nota: tomada del Diario Oficial de la Nación (2003)

Tabla 33

Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación y los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación y los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	Usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas

Nota: tomada del Diario Oficial de la Nación (2003)

Los sitios de disposición final para los lodos mencionados en la NOM-083-SEMARNAT-2003 se clasifican de acuerdo a lo indicado en la tabla 34.

Tabla 34

Categorías de los sitios de disposición final

Tipo	Toneladas por día recibidas
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10

Nota: tomada del Diario Oficial de la Nación (2004)

El sitio de disposición debe contar con una barrera geológica natural o equivalente, garantizar la extracción, captación, conducción y control del biogás generado, contar con un sistema de captación y extracción del lixiviado generado, un drenaje pluvial, así como un área de emergencia para depositar los residuos en cualquier eventualidad, desastre natural o emergencia, alcanzar los requerimientos mencionados en la tabla 3.32, contar con manual de operación, control de registro e informe mensual de actividades, medir y

controlar impactos ambientales y contar con obras complementarias como caminos, cerca perimetral, caseta de vigilancia, servicios básicos y franja de amortiguamiento.

Tabla 35
Requerimientos de compactación

Sitio	Compactación de residuos, kg/m ³	Recepción de residuos sólidos, ton/día
A1	>700	>750
A2	>600	100 a 750
B	>500	50 a 100
C	>400	10 a 50

Nota: tomada del Diario Oficial de la Nación (2004)

Los lodos deben ser estabilizados antes de disponer de ellos para evitar olores y riesgos a la salud, además de que dicho proceso tiene las ventajas de reducir su masa y volumen. Los métodos más utilizados para la estabilización de lodos son la digestión anaerobia, digestión aerobia, composteo y adición de cal.

3.13 Análisis de flujo de agua.

Se debe realizar un análisis de flujo en suelos para poder cuantificar la cantidad de agua que puede infiltrarse a través del fondo o de los bordos de la laguna.

Ley de Darcy.

El flujo subterráneo está gobernado por la ley de Darcy, la cual establece que la velocidad del flujo es proporcional al gradiente hidráulico (Harr, 1962).

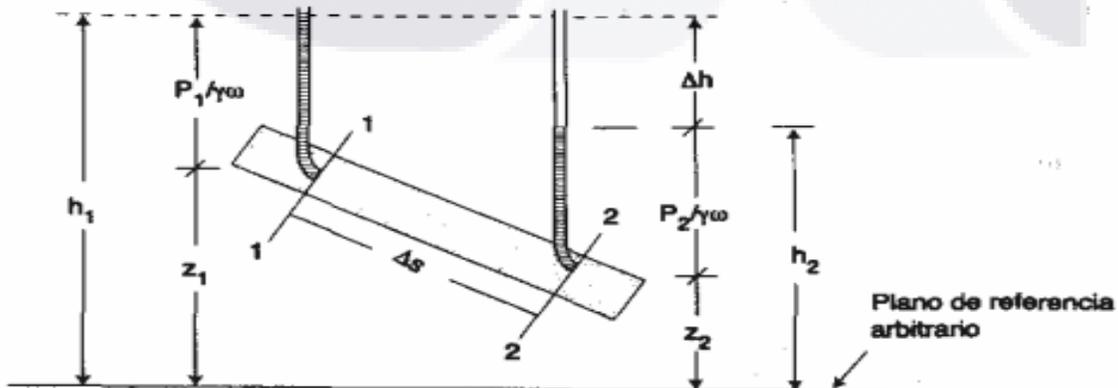


Figura 20 Aparato experimental para ilustrar la ley de Darcy. Tomada de Flores (2000).

Considérese un cilindro de sección A llenado con arena, taponado a cada extremo y con un tubo de entrada y otro de salida. Se introduce agua que fluye a todo lo largo del cilindro hasta un tiempo en que todos los poros se encuentran llenos con agua y el gasto Q en la entrada es igual al gasto en la salida, tomando un plano de referencia arbitrario con $z=0$, las elevaciones para z_1 y z_2 son h_1 y h_2 . La distancia entre las entradas del manómetro es Δl (Freeze & Cherry, 1979). La descarga específica v se define como:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Q= Gasto, en m^3/s .

A= Área de la sección, en m^2 .

v = En dimensiones de velocidad, en m/s .

Experimentos llevados a cabo por Darcy demuestran que v es directamente proporcional a $h_1 - h_2$ cuando Δl se mantiene constante, e inversamente proporcional a Δl cuando $h_1 - h_2$ se mantiene constante. Si $\Delta h = h_2 - h_1$, la ley de Darcy puede escribirse en forma diferencial como la ecuación siguiente (Freeze & Cherry, 1979).

$$v = -k \frac{dh}{dl}$$

Donde:

h = Altura piezométrica, en m .

$\frac{dh}{dl}$ = Gradiente hidráulico.

k = Conductividad hidráulica, cm/s .

Por lo tanto, la ecuación de Darcy se escribe:

$$Q = -k \frac{dh}{dl} A$$

Simplificando:

$$Q = -k i A$$

Donde:

i = Gradiente hidráulico.

La ley de Darcy es válida para el flujo de agua subterránea en cualquier dirección en el espacio.

Permeabilidad.

Mide la facilidad con que el agua se mueve a través de los acuíferos. La conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad k es la tasa de flujo de agua a través de un área transversal unitaria del acuífero bajo un gradiente de presión unitario y su determinación puede hacerse mediante cualquiera de los siguientes métodos (Flores, 2000):

Métodos directos:

- a. Permeámetro de carga constante.
- b. Permeámetro de carga variable.
- c. Pruebas directas en campo.

Métodos indirectos

- a. Cálculo a partir de la distribución granulométrica.
- b. Cálculo a partir de la prueba de consolidación.
- c. Prueba de capilaridad horizontal.

Permeámetro de carga constante. Mide el volumen Q que pasa a través de la muestra de suelo de longitud L y sección transversal A , en el tiempo t (Flores, 2000).

El gasto que pasa a través de la muestra de suelo es:

$$q = \frac{Q}{t} = kiA = kA \frac{h}{L}$$

Despejando k se tiene:

$$k = \frac{QL}{tAh}$$

Permeámetro de carga constante. Mide el volumen Q que pasa a través de la muestra de suelo de longitud L y sección

Tabla 36
Valores relativos *para la permeabilidad*

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/s)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 \cdot 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 \cdot 10^{-1}$ a $1 \cdot 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 \cdot 10^{-3}$ a $1 \cdot 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \cdot 10^{-7}$	Arcilla

Nota: Tomada de Flores (2000).

La permeabilidad se puede ver afectada por diversos factores asociados al suelo y a las características del suelo circulante. Los principales factores son (Juárez & Rico, 2005):

1. Relación de vacíos del suelo.
2. La temperatura del agua.
3. La estructura y estratificación del suelo.
4. La existencia de agujeros, fisuras, etc., en el suelo.

Homogeneidad e isotropía.

Si el coeficiente o permeabilidad es independiente de la dirección de la velocidad, el medio es isótropo, Por otra parte, si el mismo valor del coeficiente de permeabilidad mantiene en todos los puntos dentro de la región de flujo, el medio es homogéneo e isótropo. Si el coeficiente de permeabilidad depende de la dirección de la velocidad y si la dirección es la misma en todos los puntos de la región de flujo, el medio es homogéneo y anisótropo (Harr, 1962).

Acuíferos y acuitardos.

Un acuífero es una unidad geológica permeable capaz de transmitir una cantidad significativa de agua, un acuitardo describe las camas con menor permeabilidad en una secuencia estratigráfica, dicha permeabilidad puede ser la suficiente para transmitir una cantidad significativa de agua para un estudio de flujo subterráneo, más no la necesaria para la formación de pozos de producción dentro de ellos (Freeze & Cherry, 1979).

Los acuíferos pueden ser no confinados o confinados, los no confinados tienen como límite superior de la zona de saturación a la superficie libre del agua. También son llamados acuíferos libres, freáticos o no artesianos. Los acuíferos confinados tienen como límite

superior un estrato impermeable bajo el cual el agua está a una presión superior a la atmosférica. También son llamados acuíferos artesianos o presurizados.

Coefficiente de almacenamiento.

El coeficiente de almacenamiento S de un acuífero es el volumen de agua que el acuífero libera por unidad de área superficial del acuífero por incremento o decremento unitario de la carga, para acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento corresponde a valores aproximados de 0.1 a 0.3; en acuíferos confinados se encuentra en un rango de 5×10^{-5} a 5×10^{-3} .

Transmisividad.

Propiedad hidráulica de un acuífero que mide su habilidad para transmitir el agua subterránea por todo su espesor saturado, se define como el producto de la conductividad hidráulica k (m/s) y el espesor saturado B (m), en dirección normal a la base del acuífero y se determina con la ecuación 3.30 (Stewart & Howell, 2003):

$$T = Kb$$

Una red de flujo está compuesta por líneas de flujo y líneas equipotenciales que representan las características hidráulicas de un acuífero. Se compone por una línea de flujo, envolvente de los vectores velocidad en un instante determinado, y por una superficie equipotencial, lugar geométrico de los puntos del espacio que tienen un mismo potencial hidráulico. El flujo se producirá perpendicularmente a las superficies equipotenciales, buscando el máximo gradiente.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

Se realizará la caracterización de la laguna, esto se refiere a su clasificación mediante la determinación de su profundidad y configuración geométrica, además, se hará la caracterización de las aguas residuales mediante una prueba compuesta, que a su vez permitirá determinar el gasto de entrada (influyente) a la laguna.

Se realizará un levantamiento batimétrico para determinar los perfiles y volúmenes de sólidos sedimentados en la laguna e identificar las zonas de acumulación de lodo más críticas mediante la determinación de una cuadrícula previamente definida por perfiles longitudinales y transversales para tener un número n de puntos con su respectiva medición batimétrica. Con los datos obtenidos se elaborarán los perfiles del fondo de la laguna y de acumulación de sedimentos, la obtención de los datos será mediante estación total y prismas reflectantes para después ser usados en la elaboración de perfiles mediante programas por computadora. A su vez el levantamiento permitirá conocer las dimensiones de la laguna. Calculando el volumen total de la laguna y el de lodos se obtendrá el volumen disponible o útil.

En conjunto con el organismo operador de la laguna de oxidación, Proactiva Medio Ambiente Caasa, se realizará el levantamiento topográfico mediante dron para corroborar los datos obtenidos en campo y determinar el volumen máximo dentro de la laguna.

La medición del gasto de entrada es fundamental para conocer las cargas orgánicas e hidráulicas, el tiempo de retención hidráulico y la eficiencia del sistema. El aforo se realizará para el mes de enero por un periodo de 18 horas de duración al día durante una semana. La medición de aforo y de los principales parámetros de contaminación en la laguna se realizará con apoyo de la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA) y el laboratorio Microlab Industrial, que cuenta con las siguientes acreditaciones:

Acreditación en aguas: No. AG-197-0554/10.

Acreditación en alimentos: No. A-002-002/09.

Acreditación en Sanidad Agropecuaria: No. SA-001/09.

Acreditación por parte de SAGARPA: No. CONST-025.

ACREDITACIÓN POR PARTE DE CONAGUA: No. CNA-GCA-1640.

El posible impacto en el agua subterránea se evaluará mediante los valores del nivel estático de los pozos ubicados en la zona de estudio, actualizados al año 2017. Dichos valores serán procesados mediante el software libre QGIS para crear una superficie equipotencial que permita trazar líneas de flujo ortogonales, y determinar de esta forma la dirección del flujo subterráneo. Los pozos ubicados aguas debajo de la laguna serán analizados por el laboratorio MICROLAB INDUSTRIAL para conocer la calidad del agua subterránea. El tipo de suelo en la zona será consultado en cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Se realizará y analizarán distintas propuestas de solución para el tratamiento del agua residual de origen doméstico de la comunidad de Montoro, considerando 10 años para el tiempo de diseño. La población a futuro se calculará mediante censos poblacionales proporcionados por el INEGI. Los procesos de tratamiento elegidos para conformar las propuestas de diseño serán seleccionados conforme a su porcentaje de remoción de contaminantes, los cuales se pueden observar en las tablas 4 y 5.

La selección de la propuesta de solución será la que represente la mejor opción costo/beneficio para la comunidad.

CAPITULO V: RESULTADOS

La caracterización comenzó con conocer en que se reutiliza el efluente de la laguna. El efluente descarga en un bordo cercano a la laguna para después ser reutilizado en el riego, por lo que debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.



Figura 21 Uso del efluente para riego, elaboración propia.

5.1 Muestra compuesta.

Se realizó la toma de una muestra compuesta conformada por dos muestras puntuales y el aforo del influente, los resultados pueden observarse en las tablas 37 y 38.

Tabla 37
Resultados de aforo en el influente

Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Resultado l/s
16 al 17 enero 2017	06:40 - 00:40	0.880
18 al 19 enero 2017	06:00 - 00:00	1.300
20 al 21 enero 2017	10:00 - 04:00	0.820
22 al 23 enero 2017	07:40 - 01:40	1.530

Nota: Elaboración propia.

El método utilizado para el aforo fue de tipo canal circular cerrado y se utilizó un medidor tipo molinete modelo Flow Probe FP101.

En la tabla 38 se muestran los valores promedio de los principales contaminantes químicos en el influente de la laguna.

Tabla 38
Valores promedio resultantes de la muestra compuesta

Contaminante	Valor	Unidad
DBO ₅	360.620	mg/l
Coliformes fecales	≥240000	NMP/100 ml
SST	204.650	mg/l
pH	7.745	U de pH
Nitrógeno total	63.474	mg/l
Fósforo total	11.955	mg/l
Arsénico	0.050	mg/l
Cadmio	0.050	mg/l
Cianuros	0.027	mg/l
Cobre	0.072	mg/l
Cromo total	0.050	mg/l
Mercurio	0.003	mg/l
Níquel	0.050	mg/l
Plomo	0.050	mg/l
Zinc	0.216	mg/l
Huevos de helminto	>1	Huevos/l

Nota: Elaboración propia

5.2 Levantamiento topográfico y batimétrico.

El levantamiento topográfico se realizó de dos formas: mediante estación total y dron. El levantamiento batimétrico se realizó utilizando lancha y estatal para medir las profundidades batimétricas.

La profundidad máxima resultó ser de 2.20m, el área superficial es de 1,170.54m² y su volumen aproximado es 2,575.19 m³, la laguna no presenta lodos. En las figuras 22 y 23 se detalla lo antes mencionado.

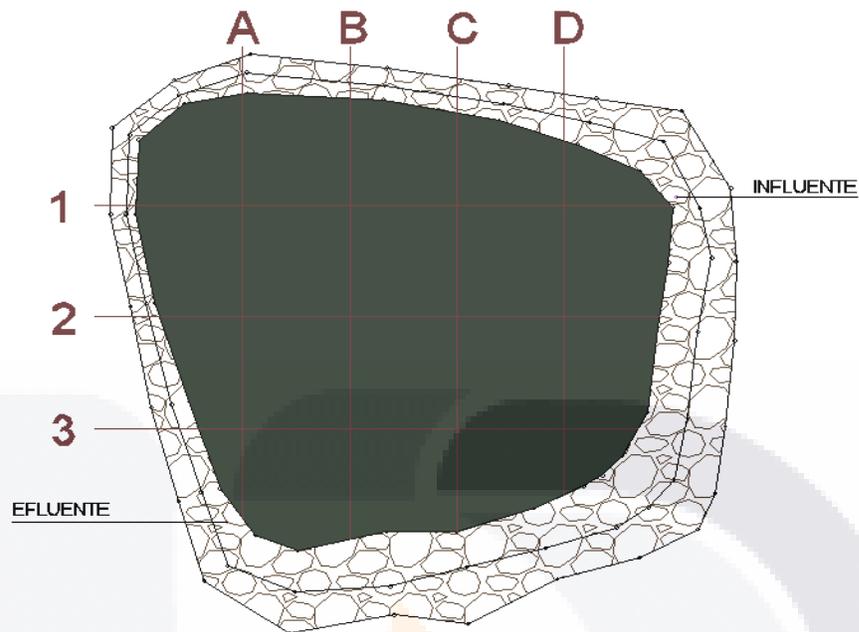


Figura 22 Levantamiento topográfico y batimétrico de la laguna, malla creada para toma de mediciones batimétricas, elaboración propia.

MEDICIONES BATIMÉTRICAS					
COTA	IMAGEN	LECTURA	COTA	IMAGEN	LECTURA
1A		1.06 m	1C		2.09 m
2A		1.60 m	2C		2.04 m
3A		1.67 m	3C		1.80 m
1B		2.10 m	1D		1.58 m
2B		2.20 m	2D		1.80 m
3B		2.15 m	3D		1.60 m

Figura 23 Mediciones batimétricas, elaboración propia.

El modelo de dron utilizado fue dji phantom. En la figura 24 se observa que dentro del área de la laguna hay valores altos semejantes a los de la superficie, por lo que se reclasifico el área con los valores máximo y mínimo de las elevaciones dentro de la laguna con la herramienta estadística de zona, el rango para la reclasificación se observa en la tabla 39.

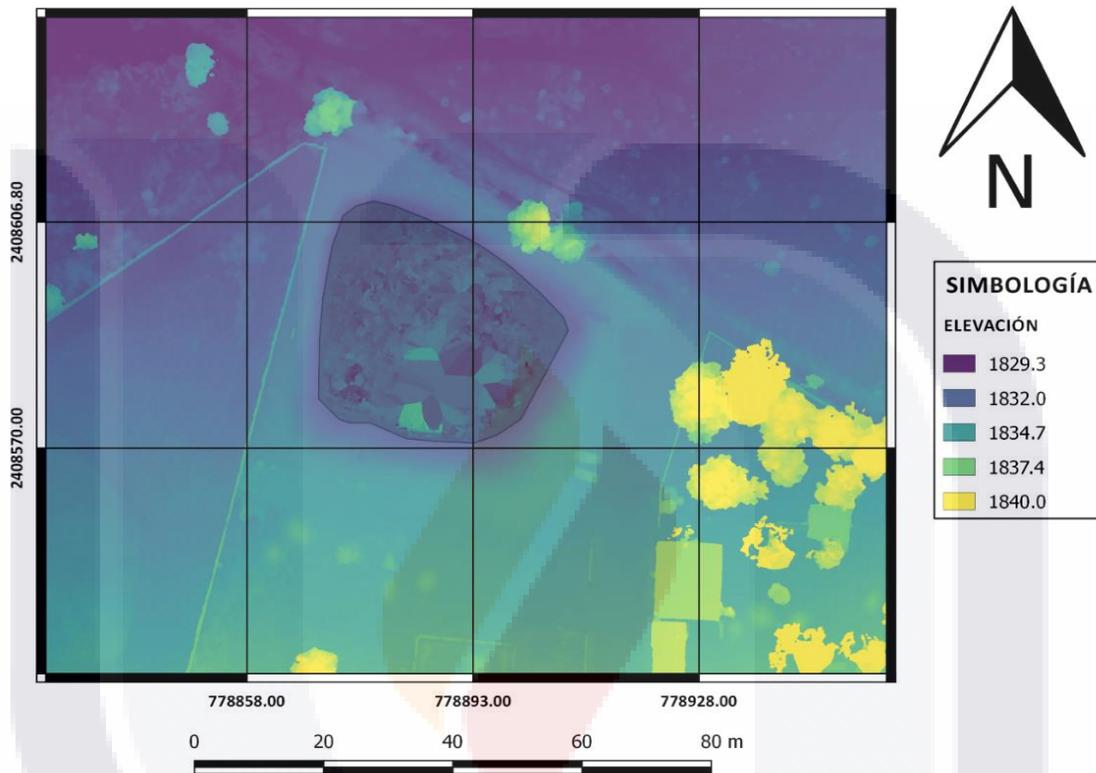


Figura 24 Levantamiento topográfico de la laguna mediante dron, elaboración propia

Tabla 39
Rango de valores para la reclasificación

Elevación Mínima	Elevación Máxima	Elevación Promedio
1829.30	1829.93	1829.61
1829.93	1830.55	1830.24
1830.55	1831.18	1830.86
1831.18	1831.80	1831.49

Nota: Elaboración propia

El resultado de la reclasificación se observa en la figura 25.

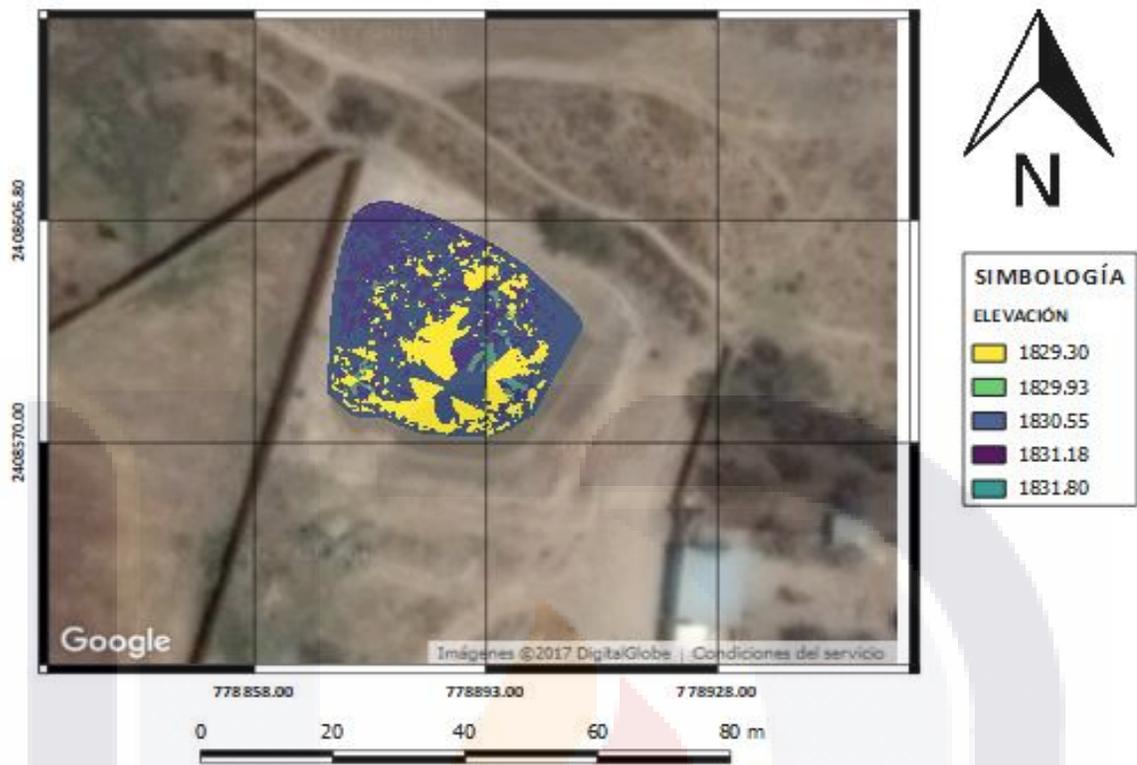


Figura 25 Área de la laguna reclasificada.

Mediante la estadística de zona se determinaron las características de la laguna mostradas en la tabla 40.

Tabla 40
Características físicas de la laguna actual

Área (m ²)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)
1119.60	1829.45	1831.70

Nota: Elaboración propia

El área obtenida con el dron es semejante a la calculada con la estación total y se deduce que la laguna puede alcanzar una altura máxima de 2.25m adicionales a la profundidad con la que ya cuenta.

Con base a los parámetros químicos y el gasto de aportación obtenidos con la muestra compuesta se determinaron las características con las que debería contar la laguna actual con el fin de producir un efluente de calidad que cumpla con la normativa vigente. Dichas características pueden observarse en las tablas 41 y 42.

Tabla 41
Dimensiones de la laguna facultativa

Laguna Facultativa	
Carga orgánica (kg/día)	35.410
Carga superficial de diseño (kgDBO ₅ /ha*día)	101.910
Número de lagunas	2
Volumen V _a (m ³)	3828.000
Profundidad Z (m)	2.200
Área A _a (m ²)	1740.000
Tiempo de Retención hidráulico O _f (días)	78.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	73.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	24.000
Talud	2:1
Ancho superior B _{sup} (m)	29.000
Longitud superior L _{sup} (m)	77.000
Área superior A _{sup} (m ²)	2233.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	20.000
Largo inferior L _{inf} (m)	68.000
Coliformes fecales corregidos por evaporación	34.775
DBO ₅ corregida por evaporación (mg/l)	133.048

Nota: Elaboración propia

Tabla 42
Dimensiones de la laguna de maduración

Laguna de Maduración	
Volumen V _a (m ³)	1610.50
Profundidad Z (m)	1.20
Área A _a (m ²)	1343.00
Tiempo de Retención hidráulico O _m (días)	20.00
Longitud promedio L _{prom} (m)	48.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	28.000
Talud	2:1
Ancho superior B _{sup} (m)	31.000
Largo superior L _{sup} (m)	51.000
Área superior A _{sup} (m ²)	1581.00
Ancho inferior B _{inf} (m)	26.000
Largo inferior L _{inf} (m)	46.000
Coliformes fecales corregidos por evaporación	0.0004
DBO ₅ corregida por evaporación (mg/l)	9.946

Nota: Elaboración propia

5.3 Análisis de contaminación del agua subterránea.

Según INEGI, el tipo de roca que predomina en la zona de estudio es el conglomerado polimictico con arenisca (TplQpt Cgp-Ar) como se muestra en la figura 26. El conglomerado es una roca sedimentaria formada por cantos redondeados de gran tamaño mayor a 2 mm que pueden estar unidos por cemento o una matriz. Las areniscas presentan fragmentos con tamaños entre 2 y 0.0625mm.

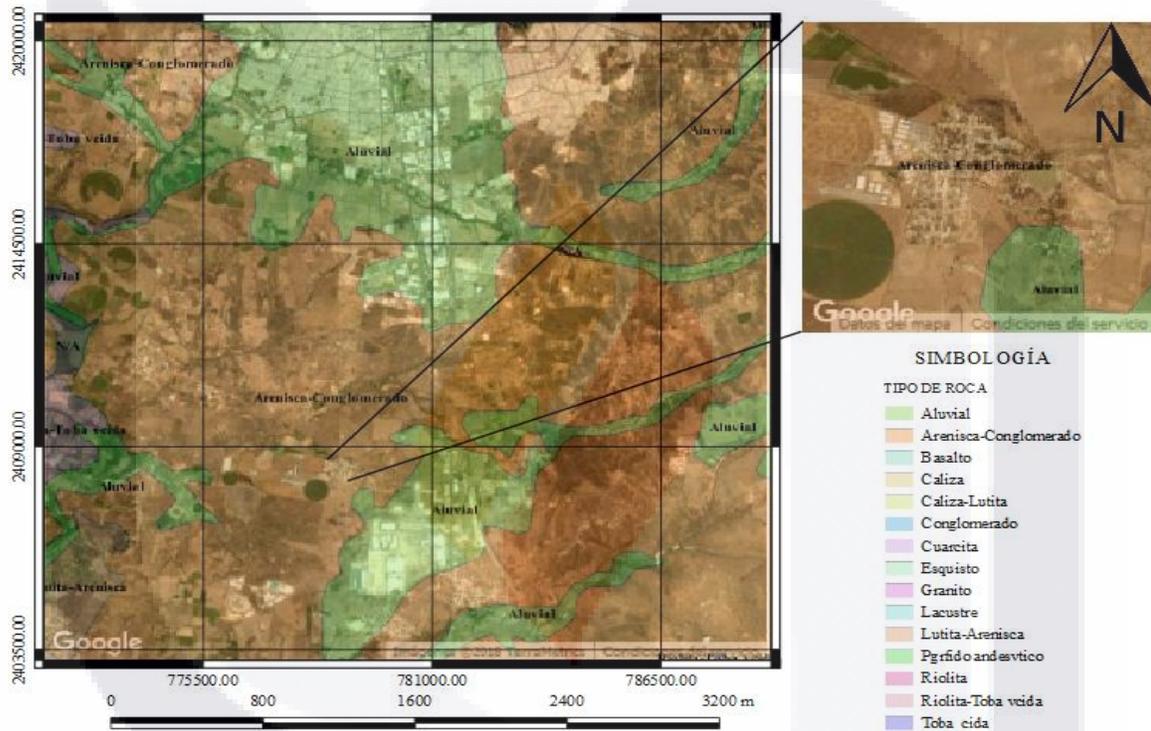


Figura 26 Mapa geológico de la zona de estudio, elaboración propia.

La dirección del flujo subterráneo se puede observar en la figura 27. Los pozos ubicados aguas abajo de la zona de estudio fueron muestreados para determinar el valor de los principales constituyentes químicos en el agua, en las figuras 28 a la 32 se grafican los resultados contra los límites permisibles para dichos contaminantes según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

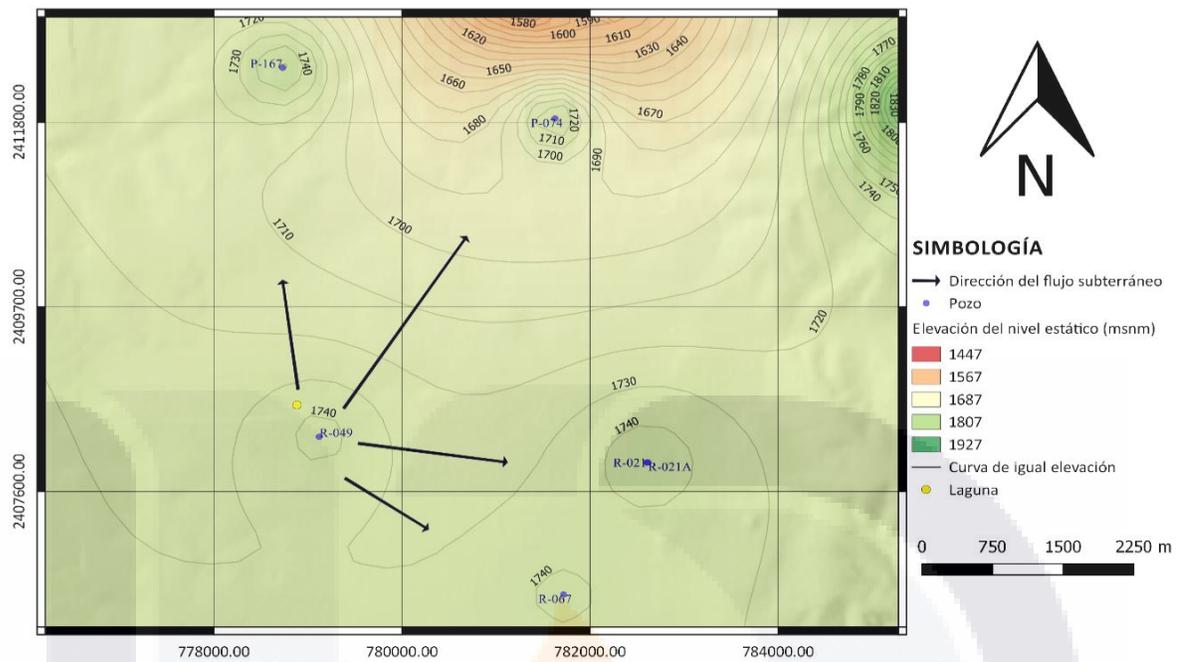


Figura 27 Dirección del flujo subterráneo en la zona de estudio, elaboración propia.

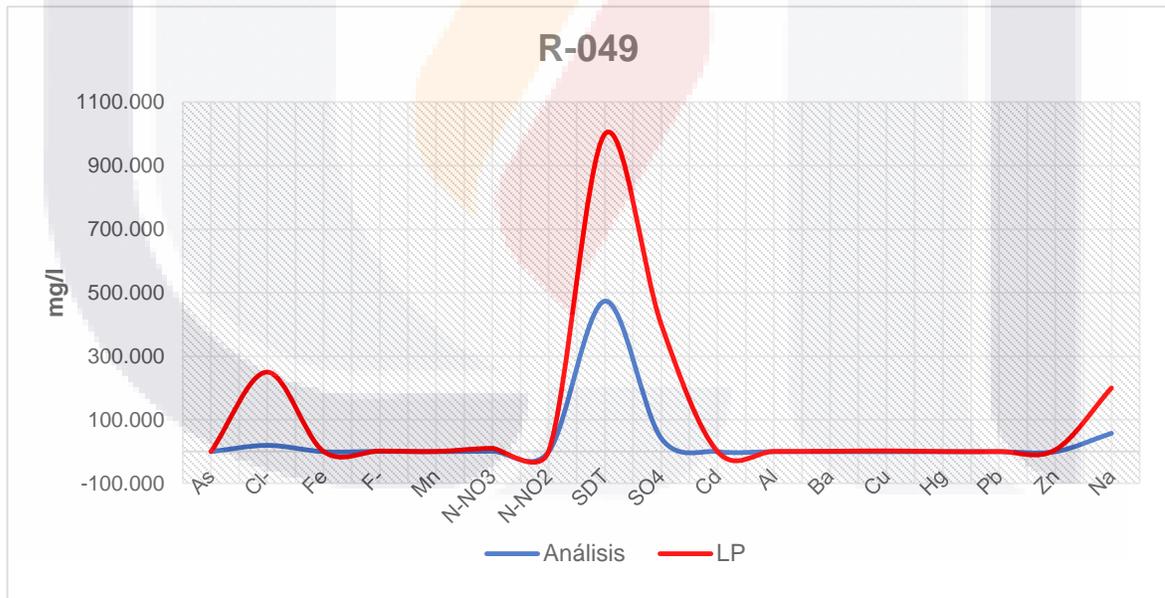


Figura 28 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 en el pozo R-049, elaboración propia.



Figura 29 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo R-067, elaboración propia.

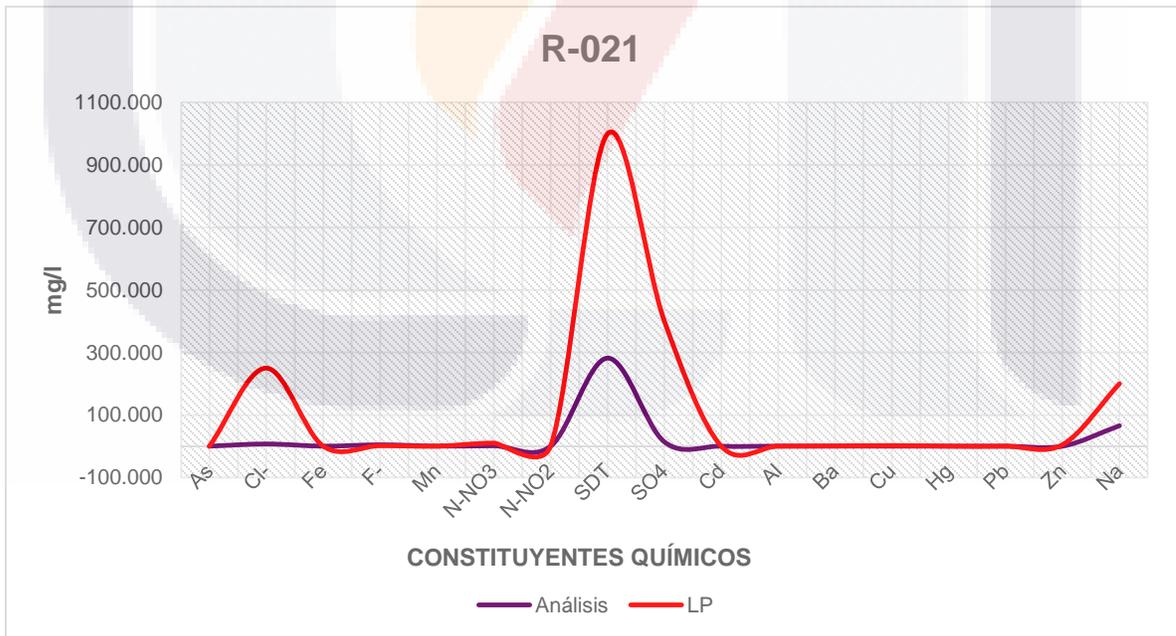


Figura 30 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo R-021, elaboración propia.



Figura 31 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo P-074, elaboración propia.



Figura 32 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para el pozo P-167, elaboración propia.

La tabla 43 y la figura 33 muestran el concentrado de los resultados obtenidos contra la normativa vigente.

Tabla 43

Comparativa entre los valores resultantes del análisis químico de los 5 pozos de estudio

Contaminante	Análisis					LP
	R-049	R-067	R-021	P-074	P-167	
As	0.007	0.009	0.011	0.005	0.005	0.025
Cl-	19.980	12.750	7.080	13.170	21.920	250.000
Fe	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.300
F-	0.960	2.090	4.360	1.070	2.000	1.500
Mn	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.150
N-NO3	1.486	1.855	1.310	1.440	0.875	10.000
N-NO2	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	1.000
SDT	474.000	356.000	282.000	414.000	710.000	1000.000
SO4	42.220	14.100	13.640	20.410	62.980	400.000
Cd	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005
Al	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.200
Ba	0.125	0.050	0.050	0.079	0.099	0.700
Cu	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	2.000
Hg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Pb	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.010
Zn	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	5.000
Na	57.900	38.470	65.510	41.480	129.300	200.000

Nota: L.P.= límites permisibles del contaminante según NOM-127-SSA1-1994, elaboración propia.

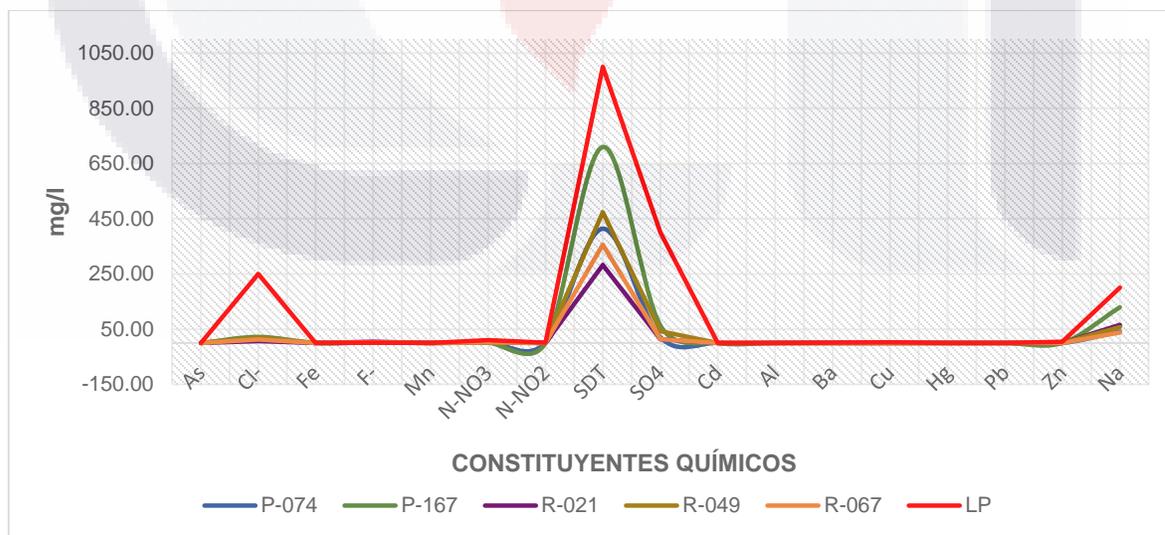


Figura 33 Representación gráfica de los valores obtenidos en el análisis contra los límites máximos permisibles para los constituyentes químicos según NOM-127-SSA1-1994 para los pozos P-074, P-167, T-021, R-049 y R-067, elaboración propia.

5.4 Propuestas de alternativas de solución.

En base a los resultados antes mostrados se presentan varias propuestas de diseño para dar solución a la problemática, todas las propuestas son arreglos nuevos, ninguna incluye la mejora de la laguna actual, contemplando un periodo de diseño de 10 años.

Los datos climatológicos utilizados para el diseño de las distintas propuestas fueron tomados de la estación 1075 ubicada en la comunidad de Montoro como se muestra en la figura 34 y la tabla 44.

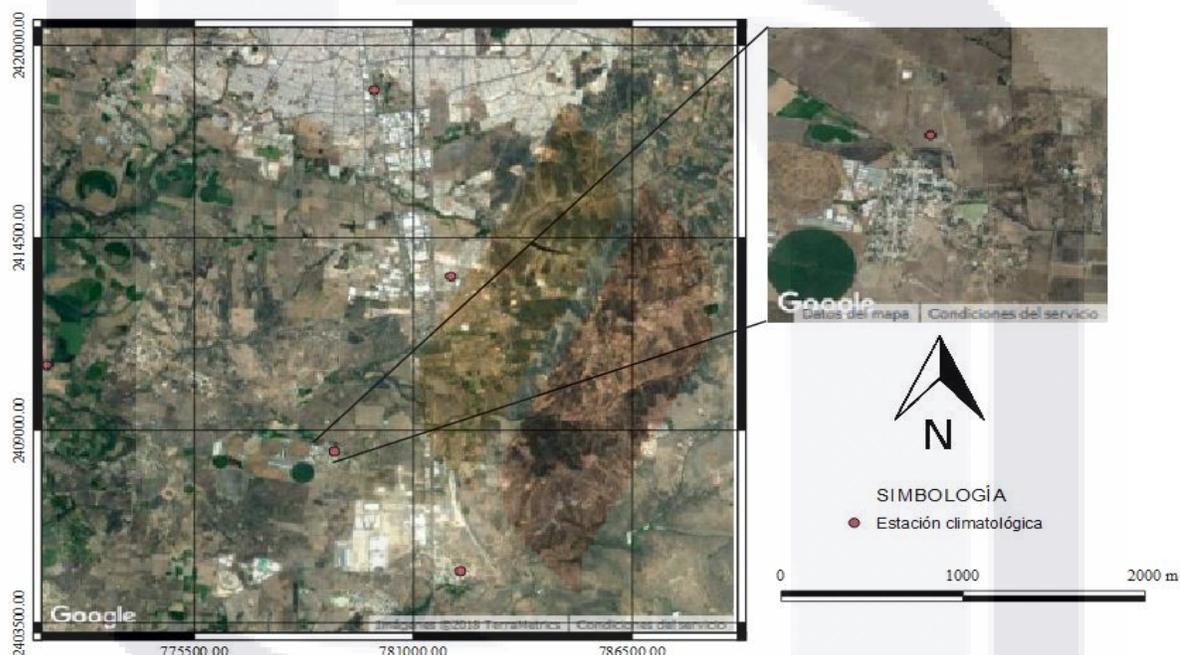


Figura 34 Ubicación de la estación 1075, elaboración propia.

Tabla 44
Datos climatológicos de la estación 1075

Estación 1075	
Temperatura media anual (°C)	18.45
Temperatura promedio del mes más frío (°C)	9.00
Evaporación media anual (mm)	147.10
Años de medición	36.00
Periodo de medición	1979 a 2014

Nota: Elaboración propia.

Al no contar con una tasa de crecimiento, se calculó mediante el método geométrico tomando como base los censos de 1990, 2000, 2010 y el número de habitantes al mes de junio del 2017, dicho dato se obtuvo con información proporcionada por CCAPAMA, al mes de junio el número de contratos es de 451 contratos, considerando 4 habitantes por contrato, el resultado se detalla en las tablas 45 y 46.

Tabla 45
Población para los años 1990, 2000, 2010 y 2017

Año	Población
1990	684
2000	916
2010	1574
2017	1804

Nota: Elaboración propia.

Tabla 46
Coefficientes de crecimiento y población futura

Coeficiente	
K1	0.0296
K2	0.0556
K3	0.0197
K _{prom}	0.035

Población futura	2544
------------------	------

Nota: Elaboración propia.

El pozo que alimenta a la comunidad de Montoro es el pozo con clave R-049, el mes de junio del 2017 registró 5.65 l/s de extracción, que corresponde al gasto máximo diario. Tomando como base este dato y sabiendo que la población cuenta con 1804 habitantes al 2017, se calcularon la dotación y el gasto medio.

$$\text{Dotación} = 193.500 \text{ l/hab/día.}$$

$$Q_m = 4.040 \text{ l/s}$$

Para el gasto de aportación se tomó el 80% del gasto medio con el objetivo de diseñar para la situación más desfavorecedora. En la tabla 47 se muestran los valores para los gastos de extracción, medio y aportación para cada año dentro del tiempo de diseño.

Tabla 47*Gastos calculados para la población a futuro*

Año	Población	Q _{extracción} (l/s)	Q _m (l/s)	Q _{maportación} (l/s)
2017	1804.000	5.656	4.040	3.232
2018	1867.104	5.854	4.182	3.345
2019	1932.414	6.059	4.328	3.462
2020	2000.010	6.271	4.479	3.583
2021	2069.970	6.490	4.636	3.709
2022	2142.377	6.717	4.798	3.838
2023	2217.317	6.952	4.966	3.973
2024	2294.878	7.195	5.140	4.112
2025	2375.152	7.447	5.319	4.255
2026	2458.235	7.708	5.505	4.404
2027	2544.223	7.977	5.698	4.558
Σ (m3/s)		23,439,821.090	16,742,729.350	13,394,183.480

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 48 se muestran los gastos de diseño calculados para el año 2027.

Tabla 48*Gastos de diseño*

Gasto	l/s
Medio Q _m	4.558
Máximo instantáneo Q _{mi}	15.963
Máximo extraordinario Q _{me}	6.837
Máximo horario Q _{mh}	6.837
Máximo diario Q _{md}	5.469

*Nota: Elaboración propia.***Pretratamiento**

El pretratamiento está compuesto por un desarenador de dos canales, uno para operación y otro para limpieza, cada uno con una rejilla fina, y de un medidor Parshall que desemboca en una canal a la entrada de la laguna para garantizar la entrada del influente de forma uniforme.

Las características de la rejilla fina o se describen de forma más detallada en las tabla 49, así como en la figura 36. Las dimensiones del desarenador se mencionan en la tabla 50 y se observan en la figura 35.

Tabla 49

Características de la rejilla fina para pretratamiento.

Rejilla	
Ancho de barras (m)	0.01
Espaciamiento entre barras (m)	0.03
Inclinación de la rejilla α	45
Forma de barras	Rectangular
Velocidad de aproximación de flujo (m/s)	0.6
Pérdida de carga (m)	0.009
Ancho de canal (m)	0.3
Número de barras	8

Nota: Elaboración propia.

Tabla 50

Características del desarenador para pretratamiento.

Desarenador	
Diámetro de arenas (cm)	0.20
Constante gravitacional g (m/s ²)	9.81
Densidad del agua (g/cm ³)	1.00
Densidad de la arena (g/cm ³)	2.65
Viscosidad del agua (g/cm ³)	1.02
Velocidad de sedimentación (mm/h)	82
Carga superficial Cs (m ³ /s*m ²)	0.02
Número de canales	2.00
Ancho del canal (m)	0.30
Longitud del canal (m)	2.30
Longitud real (m)	3.45
Área transversal del canal (m ²)	0.02
Tirante del canal (m)	0.08
Acumulación de arenas (m ³ /1000m ³)	0.05
Acumulación de arenas (m ³ /día)	0.03
Limpieza	diaria
Profundidad (m)	0.10

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 51 se enlistan las características del medidor parshall, la figura 35 detalla las características de dicho medidor, así como las dimensiones del canal de entrada para el sistema de tratamiento.

Tabla 51

Características del medidor parshall para pretratamiento.

Medidor parshall	
Caudal máximo (l/s)	6.84
Caudal máximo (m ³ /s)	0.01
Caudal medio (l/s)	4.56
Caudal medio (m ³ /s)	0.005
Caudal mínimo (l/s)	2.28
Caudal mínimo (m ³ /s)	0.002
Garganta W (cm)	7.60
Profundidad de la lámina H _{max} para Q _{max} (m)	0.12
Profundidad de la lámina H _{med} para Q _{med} (m)	0.09
Profundidad de la lámina H _{min} para Q _{min} (m)	0.06
Resalto Z (m)	0.03
Dimensiones estándar	
Longitud de paredes de sección convergente A (cm)	46.6
Tirante H _a (m)	31.0
Longitud de la sección convergente B (cm)	45.7
Ancho de la salida C (cm)	17.8
Ancho de la entrada de la sección convergente D (cm)	25.9
Longitud de la garganta F (cm)	15.2
Longitud de la sección divergente G (cm)	30.5

Nota: Elaboración propia.

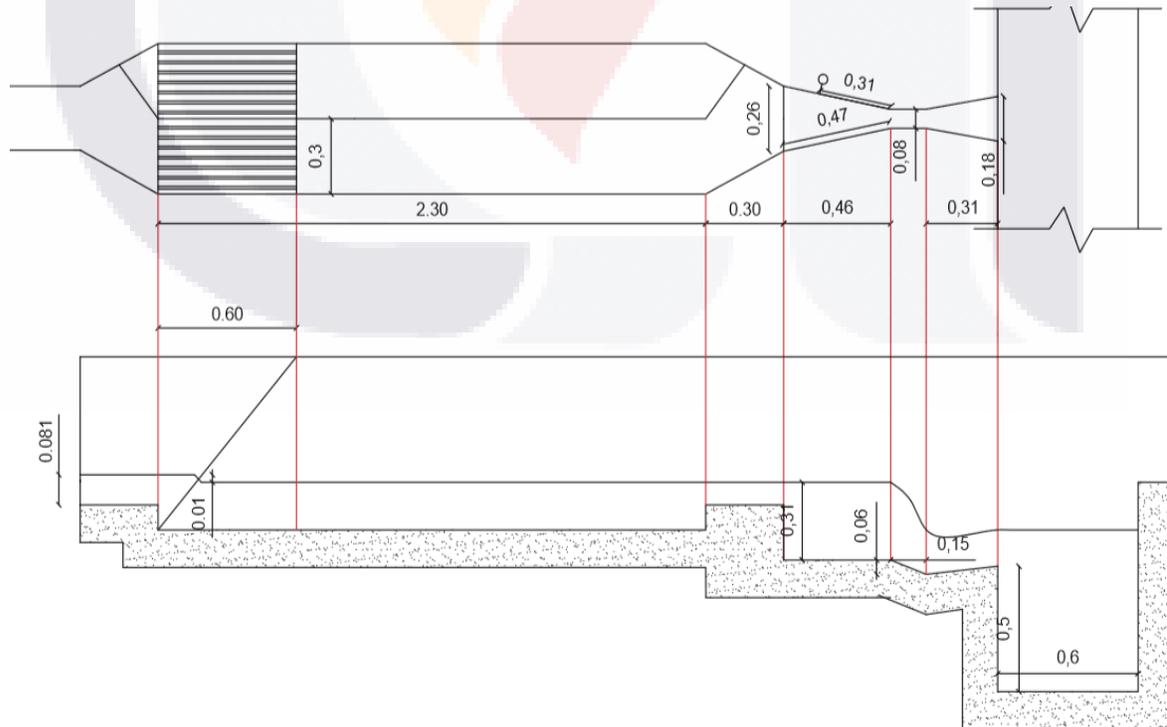


Figura 35 Configuración del pretratamiento, vista en planta, elaboración propia.

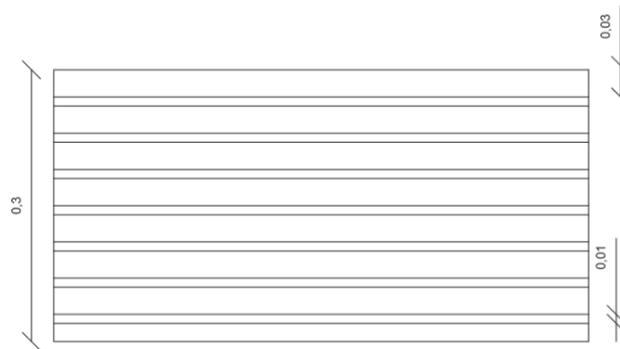


Figura 36 Configuración de la rejilla fina, vista en planta, elaboración propia.

Tratamiento

Para el tratamiento se consideraron 5 arreglos distintos: los primeros tres arreglos son lagunas de estabilización, el cuarto es una laguna aireada y el quinto es un tratamiento convencional conformado por filtro rociador.

Arreglo 1: Laguna facultativa.

El arreglo 1 está conformado por dos lagunas facultativas en paralelo, la tabla 52 detalla con exactitud sus dimensiones y características principales.

Tabla 52
Características de laguna facultativa arreglo 1

Laguna Facultativa	
Carga orgánica (kg/día)	142.848
Carga superficial de diseño (kgDBO ₅ /ha*día)	101.909
Número de lagunas	2
Volumen (m ³)	12615.468
Ancho superior B _{sup} (m)	52.000
Longitud superior L _{sup} (m)	150.000
Área superficial (m ²)	7800.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	49.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	145.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	45.000
Longitud inferior L _{inf} (m)	142.000
Talud	2:1
Profundidad (m)	1.800
Tiempo de retención hidráulico O _f (días)	64

Nota: Elaboración propia.

Las figuras 37 y 38 representan el corte longitudinal de las lagunas del arreglo 1 con sus parámetros de entrada y salida, así como la vista en planta del sistema lagunar.

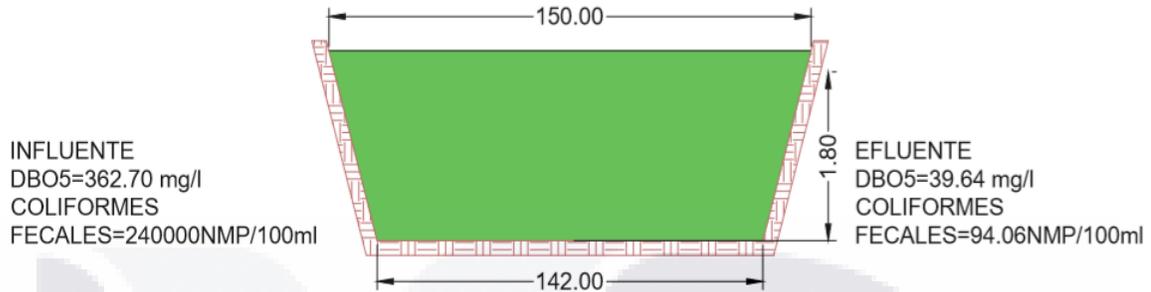


Figura 37 Corte longitudinal del arreglo 1, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.

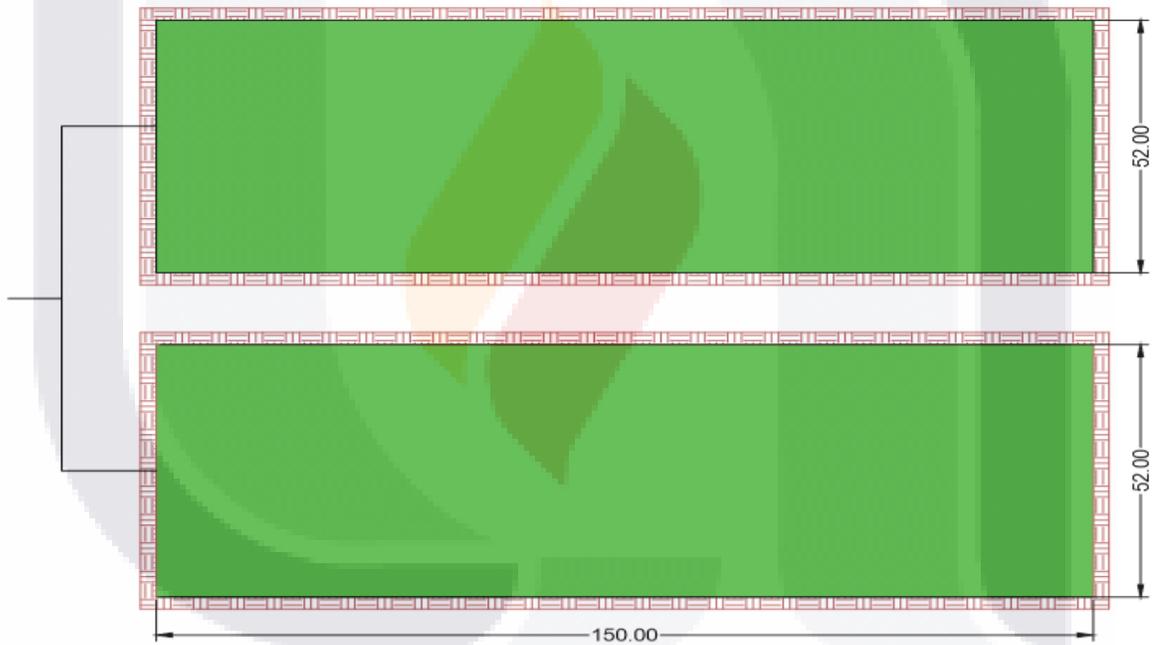


Figura 38 Vista en planta del arreglo 1, dimensiones del sistema, elaboración propia.

Arreglo 2: Laguna anaerobia, facultativa y maduración.

El arreglo 2 está conformado por una laguna anaerobia, dos lagunas facultativas en paralelo, y una laguna de maduración, las tablas 53, 54 y 55 detallan con exactitud las dimensiones y características principales de cada una de las lagunas.

Tabla 53
Características de laguna anaerobia, arreglo 2

Laguna Anaerobia	
Carga orgánica (kg/día)	142.848
Carga volumétrica λ_v (gDBO ₅ /m ³ *día)	101.909
Número de lagunas	1
Volumen (m ³)	1428.480
Ancho superior B _{sup} (m)	22.000
Longitud superior L _{sup} (m)	35.000
Área superficial (m ²)	770.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	14.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	26.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	6.000
Longitud inferior L _{inf} (m)	20.000
Talud	2:1
Profundidad (m)	4.000
Tiempo de retención hidráulico O _a (días)	4

Nota: Elaboración propia.

Tabla 54
Características de laguna facultativa, arreglo 2

Laguna Facultativa	
Carga orgánica (kg/día)	85.708
Carga superficial de diseño (kgDBO ₅ /ha*día)	101.909
Número de lagunas	2
Volumen (m ³)	7569.216
Ancho superior B _{sup} (m)	42.000
Longitud superior L _{sup} (m)	116.00
Área superficial (m ²)	4872.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	38.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	113.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	34.000
Longitud inferior L _{inf} (m)	110.000
Talud	2:1
Profundidad (m)	1.800
Tiempo de retención hidráulico O _f (días)	39

Nota: Elaboración propia.

Las figuras 39 y 40 representan el corte longitudinal de las lagunas del arreglo 2 con sus parámetros de entrada y salida, así como la vista en planta del sistema lagunar.

Tabla 55

Características de laguna de maduración, arreglo 2

Laguna de Maduración	
Número de lagunas	1
Volumen (m ³)	2806.85
Ancho superior B _{sup} (m)	40.000
Longitud superior L _{sup} (m)	77.00
Área superficial (m ²)	3080.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	38.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	75.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	38.000
Longitud inferior L _{inf} (m)	73.000
Talud	2:1
Profundidad (m)	1.000
Tiempo de retención hidráulico O _m (días)	8

Nota: Elaboración propia.

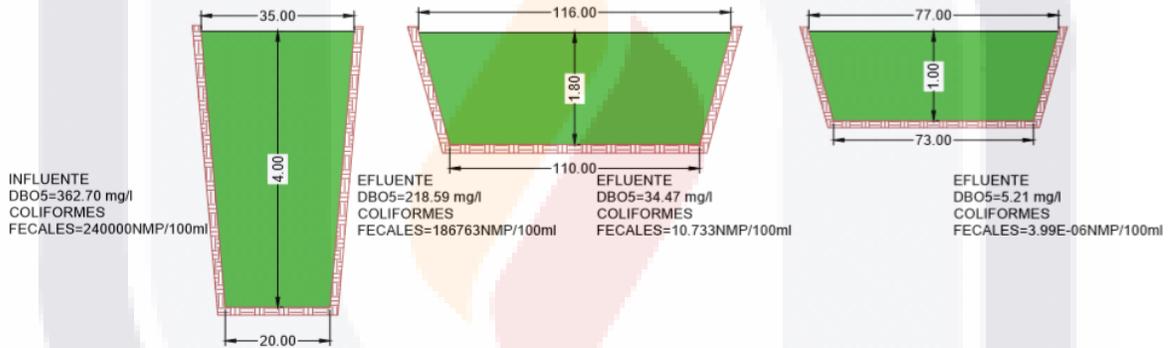


Figura 39 Corte longitudinal del arreglo 2, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.

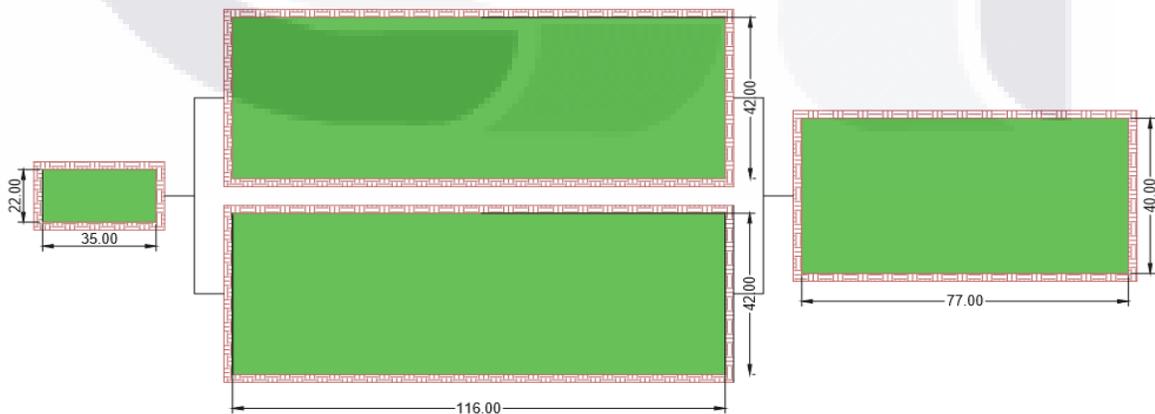


Figura 40 Vista en planta del arreglo 2, dimensiones del sistema, elaboración propia.

Arreglo 3: laguna facultativa y de maduración.

El arreglo 3 está conformado por dos lagunas facultativas en paralelo, y una laguna de maduración, la tablas 56 y 57 detallan con exactitud las dimensiones y características principales de cada una de las lagunas.

Tabla 56
Características de laguna facultativa, arreglo 3

Laguna Facultativa	
Carga orgánica (kg/día)	142.848
Carga superficial de diseño (kgDBO ₅ /ha*día)	101.909
Número de lagunas	2
Volumen (m ³)	12615.468
Ancho superior B _{sup} (m)	52.000
Longitud superior L _{sup} (m)	150.000
Área superficial (m ²)	7800.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	49.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	145.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	45.000
Longitud inferior L _{inf} (m)	142.000
Talud	2:1
Profundidad (m)	1.800
Tiempo de retención hidráulico O _f (días)	64

Nota: Elaboración propia.

Tabla 57
Características de laguna de maduración, arreglo 3

Laguna de Maduración	
Número de lagunas	1
Volumen (m ³)	6496.689
Ancho superior B _{sup} (m)	60.000
Longitud superior L _{sup} (m)	100.00
Área superficial (m ²)	6000.000
Ancho promedio B _{prom} (m)	56.000
Longitud promedio L _{prom} (m)	97.000
Ancho inferior B _{inf} (m)	55.000
Longitud inferior L _{inf} (m)	95.000
Talud	2:1
Profundidad (m)	1.200
Tiempo de retención hidráulico O _m (días)	20

Nota: Elaboración propia.

Las figuras 41 y 42 representan el corte longitudinal de las lagunas del arreglo 3 con sus parámetros de entrada y salida, así como la vista en planta del sistema lagunar.

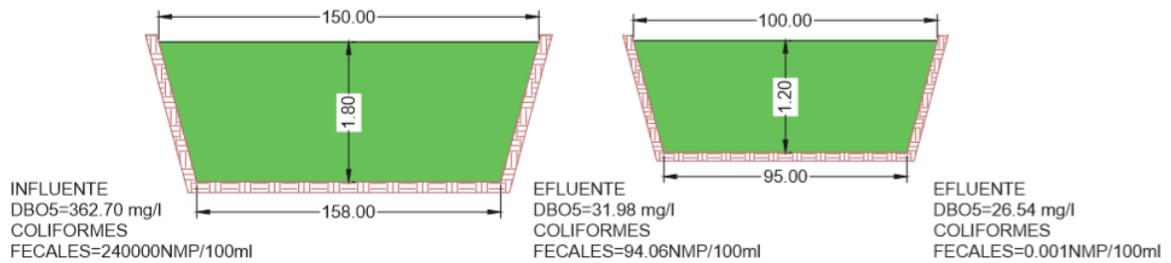


Figura 41 Corte longitudinal del arreglo 3, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.

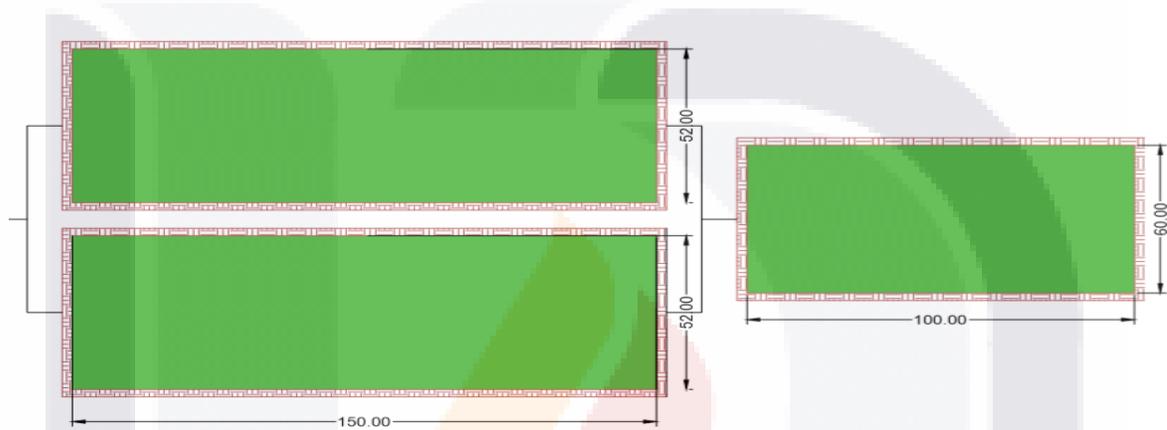


Figura 42 Vista en planta del arreglo 3, dimensiones del sistema, elaboración propia.

Arreglo 4. Laguna aireada aerobia y facultativa.

El arreglo 4 está conformado por una laguna aireada aerobia y una laguna aireada facultativa, la tablas 58 y 59 detallan con exactitud las dimensiones y características principales de cada una de las lagunas.

Tabla 58
Características de laguna aerobia con mezcla completa, arreglo 4

Laguna Aireada Aerobia con Mezcla Completa	
Tiempo de retención t_1 (días)	3
Volumen V (m^3)	880.670
Oxígeno requerido O_2 ($gO_2/día$)	107400.288
Tasa transferencia total de oxígeno en campo N (kgO_2/kwh)	0.603
Potencia total requerida P (kw)	2.642
Número de trenes necesarios	1.000
Volumen del tren V_{tren} (m^3)	880.666
Número de aireadores	1.00
Área de cada tren A_{tren} (m^2)	390.00
O_2 requerido por cada aireador kgO_2/h	2.64

Nota: Elaboración propia.

Tabla 59
 Características de laguna aerobia facultativa, arreglo 4.

Laguna Aireada Facultativa	
Tiempo de retención t1 (días)	2
Volumen V (m3)	704.970
Oxígeno requerido O ₂ (gO ₂ /día)	9776.906
Tasa transferencia total de oxígeno en campo N (kgO ₂ /kwh)	0.603
Potencia total requerida PI (kw)	0.675
Número de trenes necesarios	1.000
Volumen del tren V _{tren} (m3)	704.970
Número de aireadores	1.000
Área de cada tren A _{tren} (m2)	300.00
O ₂ requerido por cada aireador kgO ₂ /h	0.675

Nota: Elaboración propia.

Las figuras 43 y 44 representan el corte longitudinal de las lagunas del arreglo 4 con sus parámetros de entrada y salida, así como la vista en planta del sistema lagunar.

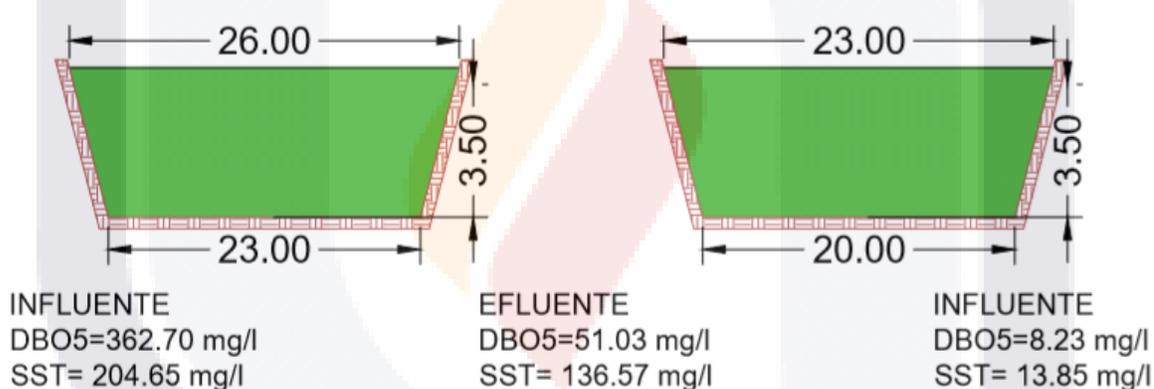


Figura 43 Corte longitudinal del arreglo 4, dimensiones, parámetros de contaminación en el influente y efluente del sistema, elaboración propia.

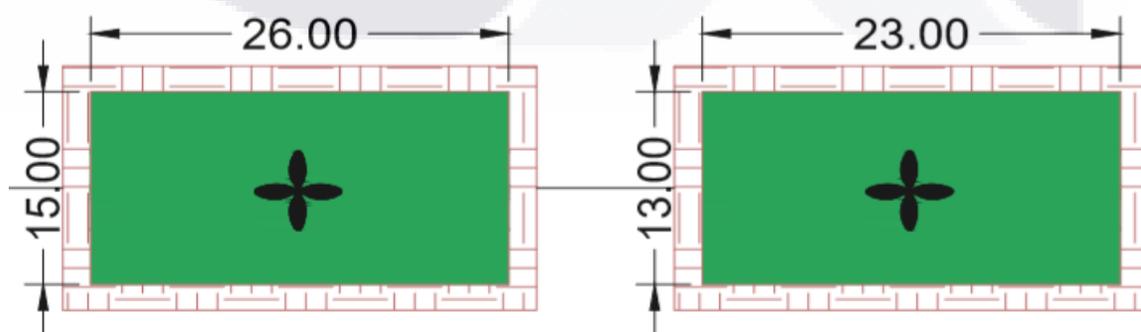


Figura 44 Vista en planta del arreglo 4, dimensiones del sistema, elaboración propia.

Arreglo 5. Tratamiento convencional: sedimentador primario, filtro percolador, sedimentador secundario.

El gasto de diseño utilizado fue el gasto máximo horario, la eficiencia de sólidos suspendidos totales corresponde a la carga hidráulica superficial, la cual puede observarse en las tablas 4 y 5. Se recomienda que la pendiente en los tanques sedimentadores este entre 60 y 160min/m.

Tabla 60
Características del sedimentador primario, arreglo 5

Sedimentador primario	
Tipo de tanque	Circular
Carga hidráulica superficial CHS (l/s/m ²)	0.300
Tiempo de retención T _r (hr)	2.000
Gasto medio Q _{med} (l/s)	4.558
Gasto máximo Q _{mh} (l/s)	6.838
Área superficial A _s (m ²)	23.000
Volumen V (m ³)	50.000
Pendiente (cm/m)	6.000
Velocidad horizontal del flujo (m/s)	0.0003
Bordo libre (m)	0.500
Eficiencia de remoción de DBO ₅ (%)	25.000
Eficiencia de remoción de SST (%)	50.000

Nota: Elaboración propia.

El filtro rociador propuesto es de baja carga por lo que no considera recirculación, sus principales características se observan en la tabla 29.

Tabla 61
Características del filtro rociador, arreglo 5

Filtro rociador	
Gasto máximo Q _{mh} (l/s)	6.838
Altura (m)	2.500
Eficiencia de remoción de DBO ₅ (kg/día)	0.871
Carga orgánica CO (kgDBO ₅ /día)	160.704
Volumen V (m ³)	1426.868
Área del filtro A (m ²)	570.000
Carga orgánica superficial COS (kgDBO ₅ /m ² *día)	0.282
Carga hidráulica superficial CHS (m ³ /m ² *día)	1.035
Eficiencia de remoción de SST (%)	60.000
SST en el influente (mg/l)	71.627
SST en el efluente (mg/l)	28.651

Nota: Elaboración propia.

Tabla 62
Características del sedimentador secundario, arreglo 5

Sedimentador secundario	
Tipo de tanque	Circular
Carga hidráulica superficial CHS (l/s/m ²)	0.500
Tiempo de retención T _r (hr)	2.000
Gasto máximo Q _{mh} (l/s)	6.838
Área superficial A _s (m ²)	14.000
Volumen V (m ³)	50.000
Pendiente (cm/m)	6.000
Velocidad horizontal del flujo (m/s)	0.0005
Bordo libre (m)	0.500
Eficiencia de remoción de DBO ₅ (%)	25.000
Eficiencia de remoción de SST (%)	50.000

Nota: Elaboración propia.

Para reducir la presencia de patógenos se estabilizarán los lodos producto del proceso de tratamiento. La opción elegida es la digestión anaerobia que consiste en la eliminación de la materia orgánica contenida en el lodo residual en ausencia de oxígeno molecular. El diseño está basado en el tiempo de digestión para la temperatura media del mes más frío.

Tabla 63
Tiempos de retención para estabilización de lodos según temperatura media más baja

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Nota: Elaboración propia.

Tabla 64
Dimensionamiento del digestor de lodos

Digestor anaerobio	
Diámetro (m)	4.000
Altura total (m)	3.000
Población	2544.000
Producción de lodos en t. primario (kg/día)	55.157
Producción de lodos en t. secundario (kg/día)	31.518
Temperatura media del mes más frío °C	9.000
Tiempo de digestión (día)	76.000
Volumen de lodos estabilizados (m ³)	6.587
Altura de la zona de lodos estabilizados (m)	2.000

Nota: Elaboración propia.

Los lechos de secado de lodos son un método simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados para facilitar su transporte, lo cual resulta ideal para pequeñas comunidades. Tendrá una profundidad útil de 0.30m, el medio de drenaje será de 0.30m de espesor y estará compuesto por una capa de 0.15m formada con ladrillo y arena gruesa sobre el medio filtrante, la arena es el medio filtrante y deberá tener un tamaño efectivo de 0.03 a 0.10m, la capa más baja será grava. El área y las características necesarias se muestran en la tabla 65.

Tabla 65
Dimensionamiento del lecho de secado de lodos

Lecho de secado de lodos	
Volumen de lodos a extraerse V (m ³)	6.587
Área del lecho de secado A (m ²)	22.000
Ancho del lecho (m)	4.000
Longitud del lecho de secado (m)	5.500

Nota: Elaboración propia.

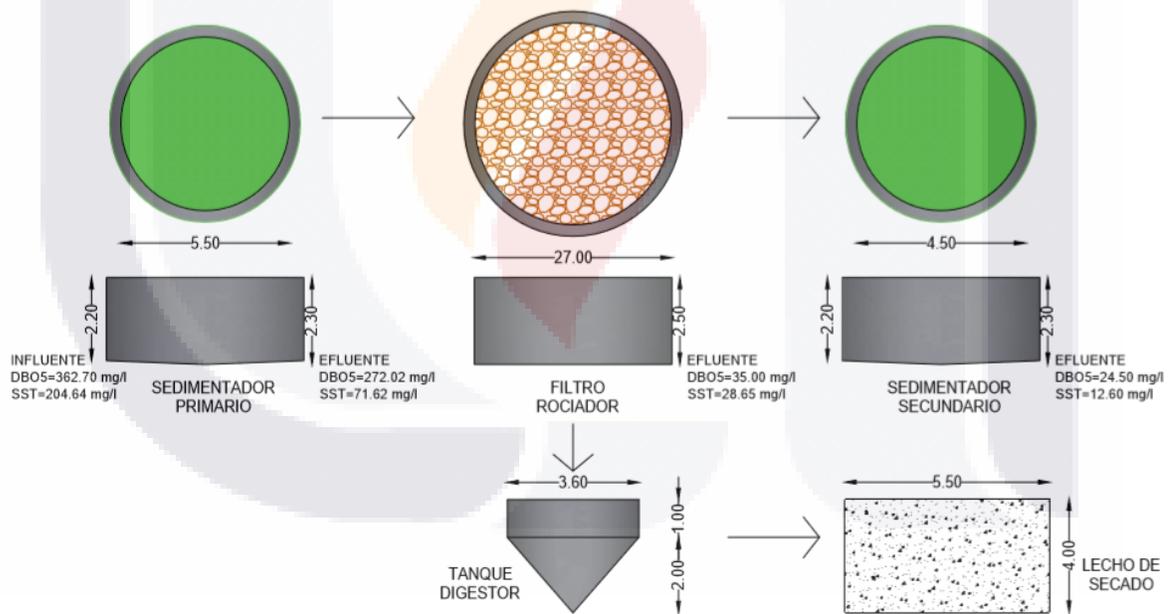


Figura 45 Arreglo 5, dimensiones del sistema, elaboración propia.

Desinfección.

Como etapa final para los distintos arreglos, se hace la propuesta de desinfección mediante hipoclorito de sodio NaClO a una concentración del 12% de cloro y concentración final de 5 ppm. Las especificaciones se observan en la tabla 66.

Tabla 66

Dosificación de la desinfección con hipoclorito de sodio

Concentración de cloro C_1 (%)	120000
Volumen a clorar V_2 (l/hr)	16400.00
Concentración final C_2 (ppm)	5.00
Volumen dosificador V_1 (l/hr)	0.68.00

Nota: Elaboración propia.

Propuesta de ubicación para la construcción de la planta de tratamiento.

El área propuesta para la construcción de la planta de tratamiento se observa en la figura 46. El área disponible es de 31,572m² y tiene una elevación promedio de 1846msnm, por lo que se encuentra fuera del área inundable del bordo que presenta su nivel aguas máximas a 1842msnm.



Figura 46 Ubicación propuesta para la construcción de la planta tratadora, elaboración propia.

Costo del terreno para la construcción de la planta de tratamiento.

Por ser propiedad privada, la adquisición del terreno representará un costo adicional. Consultando el Visor Cartográfico del Estado de Aguascalientes (VICEA) se sabe que el costo por metro cuadrado es de 7 pesos, como se muestra en la figura 47.



Figura 47 Costo por metro cuadrado según VICEA, elaboración propia.

Presupuesto estimado para las propuestas de solución.

Se presenta un presupuesto estimado del costo de inversión y operación para cada arreglo. Los precios utilizados son costos índices. En anexos se detalla cada uno de los presupuestos.

La tabla 67 muestra el costo total de cada partida que conforma el presupuesto de los primeros cuatro arreglos, la figura 48 es una descripción gráfica de dicha tabla.

Tabla 67

Costo total de cada partida que conforma el presupuesto de los arreglos 1, 2, 3 y 4

Partida	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4
Pretratamiento	\$ 227,601.50	\$ 227,601.50	\$ 227,601.50	\$ 227,611.68
Preliminares	\$ 1,486,045.20	\$ 1,331,702.20	\$ 1,943,377.20	\$ 349,575.18
Sistema lagunar	\$ 1,499,814.13	\$ 1,463,326.98	\$ 2,303,855.92	\$ 775,195.37
Impermeabilización	\$ 915,421.99	\$ 823,189.37	\$ 1,532,693.74	\$ 68,661.17
Costo de terreno	\$ 109,200.00	\$ 95,158.00	\$ 151,200.00	\$ 4,830.00
Desinfección	\$ 7,920.00	\$ 7,920.00	\$ 7,920.00	\$ 7,920.00

Nota: Elaboración propia.

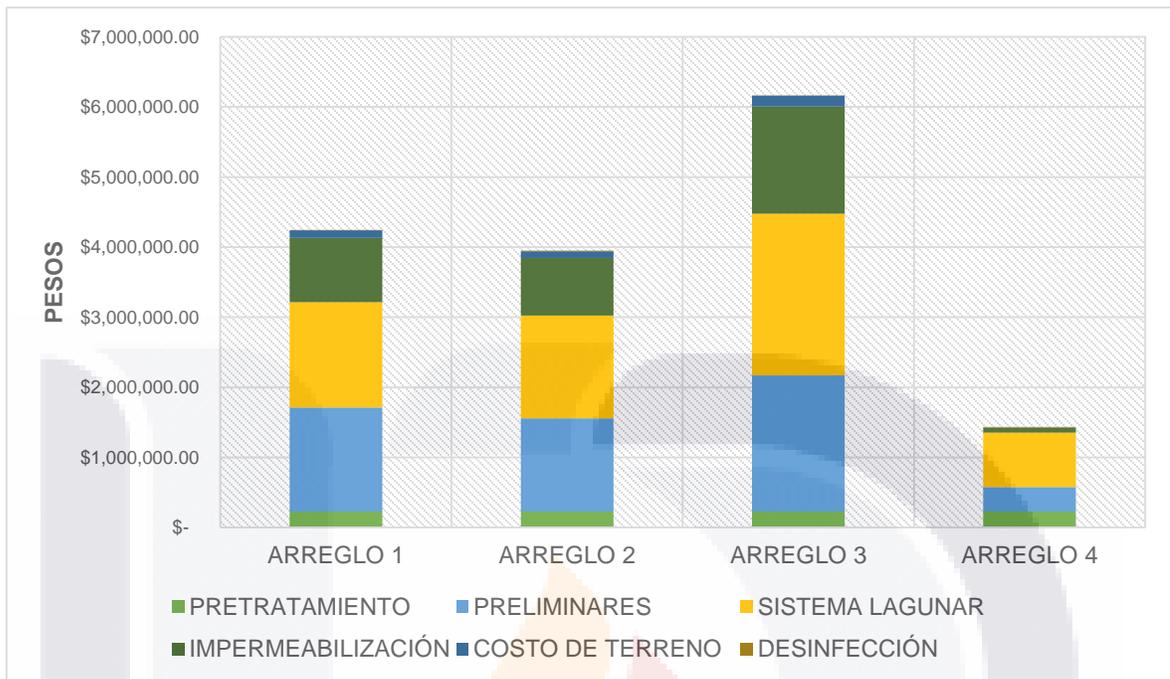


Figura 48 Comparativa entre los costos totales que conforman el presupuesto de los arreglos 1, 2, 3 y 4, elaboración propia.

La tabla 68 muestra el costo de cada partida que conforma el presupuesto del arreglo 5.

Tabla 68

Costo total de cada partida que conforma el presupuesto del arreglo 5

Partida	Arreglo 5
Pretratamiento	\$ 227,601.50
Preliminares	\$ 296,982.00
Tren de tratamiento	\$ 5,126,160.00
Costo de terreno	\$ 5,219.32
Desinfección	\$ 7,920.00

Nota: Elaboración propia.

Por último, la tabla 69 señala el costo de inversión y operación de cada uno de los arreglos, la figura 49 realiza la comparativa entre cada arreglo.

Tabla 69

Comparativa entre costos de inversión y operación de cada arreglo

Costo	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4	Arreglo 5
Inversión	\$ 4,246,002.83	\$ 3,948,898.05	\$ 6,166,648.36	\$ 1,433,793.41	\$ 5,663,882.83
Operación	\$ 3,207,347.70	\$ 3,207,347.70	\$ 3,207,347.70	\$ 4,214,847.70	\$ 1,965,704.70

Nota: Elaboración propia.

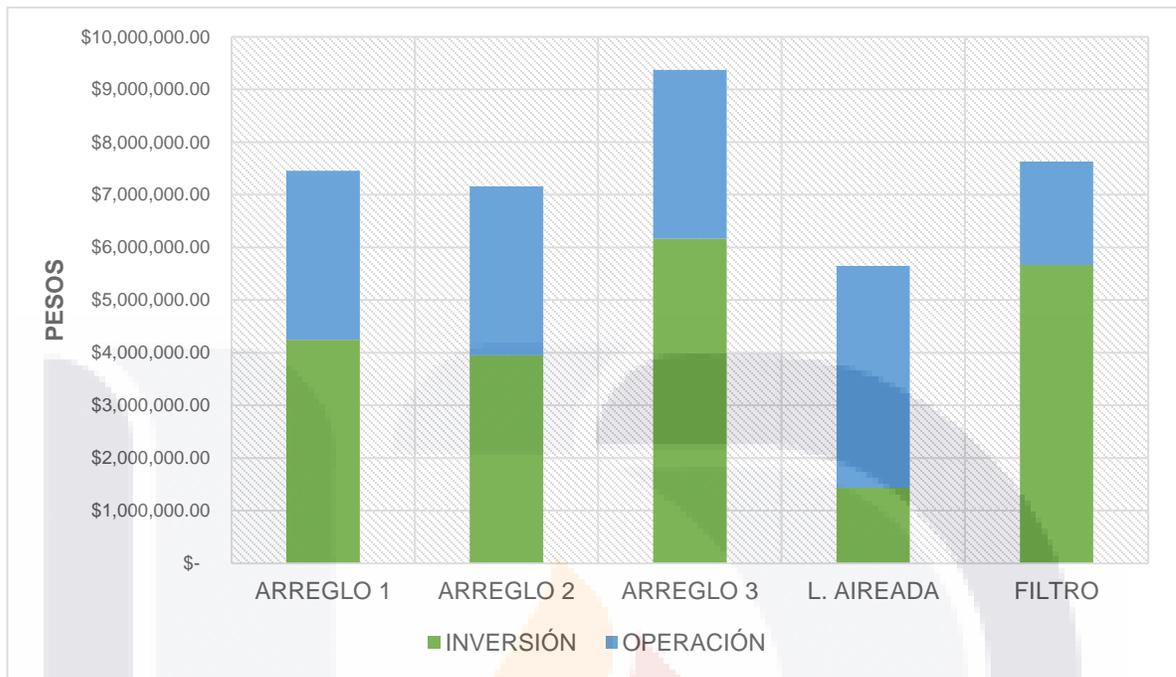


Figura 49 Comparativa entre costos de inversión y operación de los arreglos 1, 2, 3 y 4, elaboración propia.

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al realizar el análisis de los valores históricos se observa que la laguna no trabaja de forma adecuada para la carga de contaminante recibido, la calidad que presenta el efluente es prácticamente igual a la calidad del influente. Al realizar el levantamiento topográfico se determinó que la laguna no presenta volumen de lodos, lo cual puede deberse a que el tiempo de retención es menor al necesario, impidiendo la sedimentación de los sólidos, además la laguna no tiene la forma geométrica recomendada para generar flujo pistón, ni las dimensiones necesarias para poder cumplir con la normativa vigente, la laguna actual es considerablemente más pequeña.

No es posible la mejora de la laguna debido a la cercanía con la comunidad, escasos 20m, además no cuenta con la profundidad mínima para utilizar aireadores (3m).

Cuando se realizó el levantamiento topográfico con dron, los resultados mostraron que dentro de la laguna hay elevaciones mayores a la superficie del lugar, lo cual no es correcto, por este motivo se tuvo que reclasificar la imagen para obtener la elevación mínima y la elevación máxima dentro de la laguna y así obtener resultados más reales.

Realizando los muestreos en los pozos aguas debajo del área de estudio y comparando con la normativa vigente se determinó que no existe contaminación en el agua subterránea, posiblemente debido al tipo de roca poco permeable y a la profundidad del nivel estático mayor a los 100m de los pozos analizados. Posiblemente, el suelo de la zona si se encuentre contaminado, pero no se encuentra dentro de los alcances de la tesis.

Las propuestas de solución fueron de tres tipos: laguna de estabilización con 3 diferentes arreglos, laguna aireada y filtro rociador. Lo primero a destacar es que los diferentes arreglos de sistemas lagunares demandan áreas superficiales de tamaño considerable en comparación con las otras dos soluciones (laguna aireada y filtro rociador), lo cual genera un costo elevado de inversión por la compra de terreno para su construcción, la excavación y movimientos de tierra. Por otro lado, las lagunas aireadas representan un costo de inversión relativamente bajo, pero su costo de operación incrementa considerablemente su costo total, aun así, siguen siendo un tratamiento más económico que el filtro rociador.

La ubicación del cuerpo de agua donde descarga el efluente y el actual sistema de alcantarillado de la comunidad de Montoro hace difícil ubicar el sistema de tratamiento lejos de la comunidad.



CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Se caracterizó y diagnosticó la laguna de oxidación de la comunidad de Montoro mediante el análisis de datos históricos de coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno, además se realizó una prueba compuesta para conocer los principales componentes químicos en el influente, el gasto de entrada y el levantamiento topográfico y batimétrico para conocer su configuración geométrica, esto permite concluir lo siguiente:

1. Históricamente la laguna no ha tenido buen desempeño, reportando valores muy por arriba de los límites máximos permisibles.
2. Actualmente la laguna no opera de forma eficiente ya que la calidad del efluente es similar a la calidad del efluente.
3. No se cumple con la normativa vigente que corresponde a la NOM-003-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsan en servicios al público.
4. La configuración geométrica de la laguna actual no es la adecuada para tratar el agua residual.
5. La laguna de oxidación no ha desencadenado en la contaminación del agua subterránea de la zona de estudio.
6. Las lagunas de estabilización representan una opción de tratamiento de operación y mantenimiento sencillo, pero de costo ligeramente elevado debido a su gran área superficial y volumen.
7. El arreglo 4 conformado por una laguna aireada aerobia y una laguna facultativa resultó ser la mejor alternativa de solución considerando su eficiencia y costo.

REFERENCIAS.

- Alegre C. A., (2000). *Metodología Integrada para la Revisión de Evaluación de Impacto Ambiental (MIREIA)*. Recuperado en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/mireia.pdf>
- Bañuelos, J., & Durante, M. (octubre 2002). Metodología para la evaluación de impactos ambientales de lagunas de estabilización. *XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Simposio dirigido por AIDIS, Cancún, México.
- CONAGUA. (2014). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación*. Recuperado en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108923/Inventario_2014.pdf
- CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: pretratamiento y tratamiento primario*. Recuperado de: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro26.pdf>
- CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, diseño de lagunas de estabilización*. Recuperado de: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro27.pdf>
- CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: proceso de oxidación bioquímica con biomasa fija*. Recuperado de: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro34.pdf>
- CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Filtros rociadores*. Recuperado de: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro52.pdf>
- CONAGUA. (2008). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Recuperado de: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108992/DSAPAS_2008.pdf
- CONAGUA. (2007). *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Manual de diseño de lagunas de estabilización*. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>

- Correa R. G., Cuervo F. H., Mejía R. R., (2012). *Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia*. Revista Producción + Limpia, 17(2), pp 36 - 51.
- Cortés M. F., Treviño C. A., Tomasini O. A., (2017) *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. Recuperado en: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- Cruz, A. O., (2017), *Diseño, operación y evaluación de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Diario Oficial de la Federación (1997). *Norma Oficial Mexicana NOM-001- SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas en aguas y bienes nacionales*. Recuperado de: http://dog.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997.
- Diario Oficial de la Federación (1998a). *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de Alcantarillado urbano o municipal*. Recuperado en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998.
- Diario Oficial de la Federación (1997). *Norma Oficial Mexicana NOM-003- SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. Recuperado en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998.
- Diario Oficial de la Federación (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-004- SEMARNAT-2002, Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. Recuperado en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003.
- Diario Oficial de la Federación (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-083- SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio*

- de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. Recuperado en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004.
- Flores R. (2000) *Flujo de agua a través de suelos*. Recuperado de: http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1154/IMTA_043.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Freeze R. A, Cherry J. A., (1979), *Groundwater*, Nueva Jersey, EUA: Prentice-Hall, Inc.
- Harr, M. E. (1962) *Groundwater and seepage*, Nueva York, EUA: McGraw-Hill Book Company.
- SEMARNAT, (2013). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Recuperado de: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos>.
- Juárez B. E., Rico R. A., (2005) *Mecánica de suelos tomo I*, México: Limusa.
- Lesser C. L. et al. (2011). Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.28, núm. 3, p.323-336. Recuperado de: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/44042/39850>.
- Limón M. J., (08, 07, 2013), Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Recuperado de: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Oakley, S. M. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras. Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad*. Recuperado de: <http://www.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacion-en-honduras.pdf>.
- Rolim, M. S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego*. Colombia: McGraw-Hill.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1979). *Normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de alcantarillado en localidades urbanas de la República Mexicana*. Recuperado de: http://repositorio.inecc.gob.mx/pdf/AE_628_210972_M495_20/AE_628_210972_M495_20.pdf.
- Stewart, B. A., Howell T. A. (2003). *Encyclopedia of water science*. Texas, U.S.A.: Marcel Dekker.

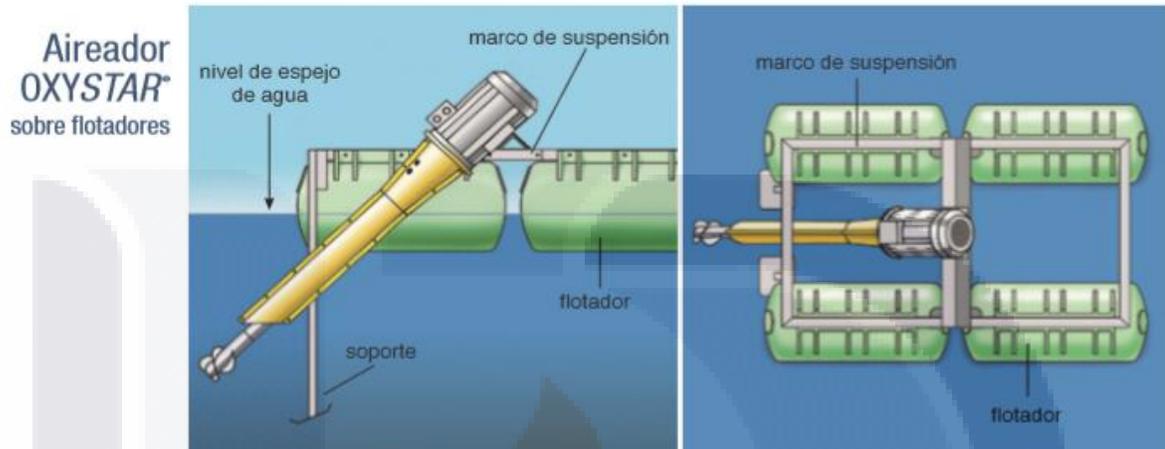
Sánchez, I. & Matsumoto, T. (2013). *Estudio de batimetría y eficiencia de un sistema de las lagunas de estabilización*. *Revista de ciencias agrícolas*, 30(1), pp 65 - 78.

Valle Puga, E. (2005) Consideraciones geotécnicas en el diseño de lagunas de estabilización (Tesis de maestría). Recuperado de: <http://http://oreon.dgbiblio.unam.mx>.



ANEXO A

FICHA TÉCNICA DE AIREADOR SUPERFICIAL



OXYSTAR Tipo	Potencia nominal		Corriente nominal A	Longitud total mm	Peso kg	Profundidad de inmersión mm	Corriente de aire m³/h
	kW	hp					
OS 3.0	2,2	3,0	4,8	1.520	37	500	65
OS 4.0	3,0	4,0	6,5	1.580	44	500	85
OS 5.5	4,0	5,5	8,2	1.580	53	500	115
OS 7.5	5,5	7,5	11,4	1.730	57	600	130
OS 10.0	7,5	10,0	14,8	1.730	82	600	155
OS 15.0	11,0	15,0	21,0	2.170	102	800	190
OS 20.0	15,0	20,0	28,0	2.170	114	800	230
OS 25.0	18,5	25,0	35,0	2.220	135	800	280
OS 30.0	22,0	30,0	41,0	2.220	151	800	350

ANEXO B

PRESUPUESTO DE ARREGLOS

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN				
CONCPETO	UNIDAD	P.U.	ARREGLO 1	
			CANTIDAD	IMPORTE
PRETRATAMIENTO				227,601.50
Suministro y colocación de pretratamiento formado por rejilla fina, desarenador y medidor Parshall.	hab.	89.47	2,544.00	227,601.50
PRELIMINARES				1,486,045.20
Trazo y nivelación con equipo topográfico, estableciendo ejes de referencia y bancos de nivel	m ²	6.50	15,600.00	101,400.00
Desmante retirando el material	m ²	64.95	15,600.00	1,013,220.00
Despalme desperdiciando el material retirando una capa de 20 cm de espesor.	m ²	23.86	3,120.00	74,443.20
Suministro e instalación de tubería de conexión	ml	1,979.88	150.00	296,982.00
SISTEMA LAGUNAR				1,499,814.13
Excavación de tierras a cielo abierto, hasta 4 m de profundidad máxima en terreno compacto, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión.	m ³	29.71	12,615.47	374,805.55
Retiro de material producto del despalme, excavación no aprovechable, troncos, escombros, basura o cualquier material y/o elemento que se encuentre dentro de la franja del derecho de vía.	m ³	98.67	3,793.78	374,332.27
Perfilado y refino de taludes de desmante en terreno compacto, con medios mecánicos.	m ²	4.21	3,224.52	13,575.23
Carga mecánica y acarreo de material producto de excavación y demolición en camión de volteo al 1er. Km, volumen medido compacto.	m ³	32.50	3,793.78	123,297.85
Acarreo de material producto de excavación y/o demolición en camión de volteo a kilómetros subsiguientes, al tiradero oficial autorizado más cercano.	km-m ³	6.55	26,556.46	173,944.81
Formación y compactación de diques al 95%	m ³	49.59	2,530.21	125,473.01
Colocación de Malla Ciclóica de 2.50 m de altura	ml	593.18	530.00	314,385.40
IMPERMEABILIZACIÓN				915,421.99
Suministro y colocación de geomembrana para impermeabilización.	m ²	55.67	15,875.56	883,792.43
Excavación en zanjas para anclaje de geomembrana de hasta 1.00m de profundidad, por medios mecánicos.	ml	29.29	802.12	23,494.09
Relleno de zanjas con tierra de la propia excavación con medios mecánicos.	m ³	63.39	128.34	8,135.47
COSTO DE TERRENO				109,200.00
Costo del terreno	m ²	7.00	15,600.00	109,200.00
DESINFECCIÓN				7,920.00
Suministro y colocación de bomba dosificadora de cloro Milton Roy	pza	7,920.00	1.00	7,920.00
OPERACIÓN				3,207,347.70
Costo de operación por el periodo de diseño del proyecto.	año	302,250.00	10.00	3,022,500.00
Desinfección de efluente mediante hipoclorito de sodio al 12%	año	18,484.77	10.00	184,847.70
TOTAL				7,453,350.53

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN				
CONCPETO	UNIDAD	P.U.	ARREGLO 2	
			CANTIDAD	IMPORTE
PRETRATAMIENTO				227,601.50
Suministro y colocación de pretratamiento formado por rejilla fina, desarenador y medidor Parshall.	hab.	89.47	2,544.00	227,601.50
PRELIMINARES				1,331,702.20
Trazo y nivelación con equipo topográfico, estableciendo ejes de referencia y bancos de nivel	m ²	6.50	13,594.00	88,361.00
Desmote retirando el material	m ²	64.95	13,594.00	882,930.30
Despalme desperdiciando el material retirando una capa de 20 cm de espesor.	m ²	23.86	2,658.38	63,428.90
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE tubería de conexión	ml	1,979.88	150.00	296,982.00
SISTEMA LAGUNAR				1,463,326.98
Excavación de tierras a cielo abierto, hasta 4 m de profundidad máxima en terreno compacto, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión.	m ³	29.71	11,804.61	350,714.93
Retiro de material producto del despalme, excavación no aprovechable, troncos, escombros, basura o cualquier material y/o elemento que se encuentre dentro de la franja del derecho de vía.	m ³	98.67	3,481.58	343,527.30
Perfilado y refine de taludes de desmote en terreno compacto, con medios mecánicos.	m ²	4.21	4,047.72	17,040.90
Carga mecánica y acarreo de material producto de excavación y demolición en camión de volteo al 1er. Km, volumen medido compacto.	m ³	32.50	3,481.58	113,151.29
Acarreo de material producto de excavación y/o demolición en camión de volteo a kilómetros subsecuentes, al tiradero oficial autorizado más cercano.	km-m ³	6.55	24,371.05	159,630.35
Formación y compactación de diques al 95%	m ³	49.59	2,009.01	99,627.00
Colocación de Malla Ciclóica de 2.50 m de altura	ml	593.18	640.00	379,635.20
IMPERMEABILIZACIÓN				823,189.37
Suministro y colocación de geomembrana para impermeabilización.	m ²	55.67	14,092.79	784,545.62
Excavación en zanjas para anclaje de geomembrana de hasta 1.00m de profundidad, por medios mecánicos.	ml	29.29	980.00	28,704.20
Relleno de zanjas con tierra de la propia excavación con medios mecánicos.	m ³	63.39	156.80	9,939.55
COSTO DE TERRENO				95,158.00
Costo del terreno	m ²	7.00	13,594.00	95,158.00
DESINFECCIÓN				7,920.00
Suministro y colocación de bomba dosificadora de cloro Milton Roy	Pza.	7,920.00	1.00	7,920.00
OPERACIÓN				3,207,347.70
Costo de operación por el periodo de diseño del proyecto.	año	302,250.00	10.00	3,022,500.00
Desinfección de efluente mediante hipoclorito de sodio al 12%	año	18,484.77	10.00	184,847.70
TOTAL				7,156,245.75

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN				
CONCPETO	UNIDAD	P.U.	ARREGLO 3	
			CANTIDAD	IMPORTE
PRETRATAMIENTO				227,601.50
Suministro y colocación de pretratamiento formado por rejilla fina, desarenador y medidor Parshall.	hab.	89.47	2,544.00	227,601.50
PRELIMINARES				1,943,377.20
Trazo y nivelación con equipo topográfico, estableciendo ejes de referencia y bancos de nivel	m ²	6.50	21,600.00	140,400.00
Desmote retirando el material	m ²	64.95	21,600.00	1,402,920.00
Despalme desperdiciando el material retirando una capa de 20 cm de espesor.	m ²	23.86	4,320.00	103,075.20
Suministro e instalación de tubería de conexión	ml	1,979.88	150.00	296,982.00
SISTEMA LAGUNAR				2,303,855.92
Excavación de tierras a cielo abierto, hasta 4 m de profundidad máxima en terreno compacto, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión.	m ³	29.71	23,688.95	703,798.56
Retiro de material producto del despalme, excavación no aprovechable, troncos, escombros, basura o cualquier material y/o elemento que se encuentre dentro de la franja del derecho de vía.	m ³	98.67	5,361.60	529,029.07
Perfilado y refino de taludes de desmote en terreno compacto, con medios mecánicos.	m ²	4.21	4,495.81	18,927.36
Carga mecánica y acarreo de material producto de excavación y demolición en camión de volteo al 1er. Km, volumen medido compacto.	m ³	32.50	5,361.60	174,252.00
Acarreo de material producto de excavación y/o demolición en camión de volteo a kilómetros subsecuentes, al tiradero oficial autorizado más cercano.	km-m ³	6.55	37,531.20	245,829.36
Formación y compactación de diques al 95%	m ³	49.59	4,431.53	219,759.47
Colocación de Malla Ciclóica de 2.50 m de altura	ml	593.18	695.00	412,260.10
IMPERMEABILIZACIÓN				1,532,693.74
Suministro y colocación de geomembrana para impermeabilización.	m ²	55.67	26,653.45	1,483,797.56
Excavación en zanjas para anclaje de geomembrana de hasta 1.00m de profundidad, por medios mecánicos.	ml	29.29	1,240.00	36,319.60
Relleno de zanjas con tierra de la propia excavación con medios mecánicos.	m ³	63.39	198.40	12,576.58
COSTO DE TERRENO				151,200.00
Costo del terreno	m ²	7.00	21,600.00	151,200.00
DESINFECCIÓN				7,920.00
Suministro y colocación de bomba dosificadora de cloro Milton Roy	Pza.	7,920.00	1.00	7,920.00
OPERACIÓN				3,207,347.70
Costo de operación por el periodo de diseño del proyecto.	año	302,250.00	10.00	3,022,500.00
Desinfección de efluente mediante hipoclorito de sodio al 12%	año	18,484.77	10.00	184,847.70
TOTAL				9,373,996.06

LAGUNA AIREADA				
CONCPETO	UNIDAD	P.U.	ARREGLO 4	
			CANTIDAD	IMPORTE
PRETRATAMIENTO			227,611.68	
Suministro y colocación de pretratamiento formado por rejilla fina, desarenador y medidor Parshall.	hab.	89.47	2544.00	227611.68
PRELIMINARES			349,575.18	
Trazo y nivelación con equipo topográfico, estableciendo ejes de referencia y bancos de nivel	m ²	6.50	690.00	4485.00
Desmote retirando el material	m ²	64.95	690.00	44815.50
Despalme desperdiciando el material retirando una capa de 20 cm de espesor.	m ³	23.86	138.00	3292.68
Suministro e instalación de tubería de conexión	ml	1,979.88	150.00	296,982.00
SISTEMA LAGUNAR			190,795.37	
Excavación de tierras a cielo abierto, hasta 4 m de profundidad, máxima en terreno compacto, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión.	m ³	29.71	1585.64	47109.36
Retiro de material producto del despalme, excavación no aprovechable, troncos, escombros, basura o cualquier material y/o elemento que se encuentre dentro de la franja del derecho de vía.	m ³	98.67	253.08	24971.40
Perfilado y refino de taludes de desmote en terreno compacto, con medios mecánicos.	m ²	4.21	446.32	1879.01
Carga mecánica y acarreo de material producto de excavación y demolición en camión de volteo al 1er. Km, volumen medido compacto.	m ³	32.50	253.08	8225.10
Acarreo de material producto de excavación y/o demolición en camión de volteo a kilómetros subsecuentes, al tiradero oficial autorizado más cercano.	km-m ³	6.55	1771.56	11603.72
Formación y compactación de diques al 95%	m ³	49.59	138.00	6843.42
Colocación de Malla Ciclóica de 2.50 m de altura	ml	593.18	152.00	90163.36
IMPERMEABILIZACIÓN			68,661.17	
Suministro y colocación de geomembrana para impermeabilización.	m ²	55.67	1136.32	63258.93
Excavación en zanjas para anclaje de geomembrana de hasta 1.00m de profundidad, por medios mecánicos.	ml	29.29	137.00	4012.73
Relleno de zanjas con tierra de la propia excavación con medios mecánicos.	m ³	63.39	21.92	1389.51
COSTO DE TERRENO			4,830.00	
Costo del terreno	m ²	7.00	690.00	4830.00
EQUIPO DE AIREACIÓN			584,400.00	
Suministro y colocación de equipo de aireación de superficie para zanjas de oxidación con potencia de 3 kW.	pza.	292200.00	2.00	584,400.00
DESINFECCIÓN			7,920.00	
Suministro y colocación de bomba dosificadora de cloro Milton Roy	Pza.	7,920.00	1.00	7,920.00
OPERACIÓN			4,214,847.70	
Costo de operación por el periodo de diseño del proyecto.	año	403000.00	10.00	4,030,000.00
Desinfección de efluente mediante hipoclorito de sodio al 12%	año	18,484.77	10.00	184,847.70
TOTAL			4,214,847.70	

FILTRO ROCIADOR				
CONCPETO	UNIDAD	P.U.	ARREGLO 5	
			CANTIDAD	IMPORTE
PRETRATAMIENTO			227,601.50	
Suministro y colocación de pretratamiento formado por rejilla fina, desarenador y medidor Parshall.	hab.	89.47	2544.00	227,601.50
PRELIMINARES			296,982.00	
Suministro e instalación de tubería de conexión	ml	1,979.88	150	296,982.00
TREN DE TRATAMIENTO			5,126,160.00	
Sistema de tratamiento compuesto por sedimentador primario, filtro rociador, sedimentador secundario, digestor anaerobio y lecho de secado	hab.	2,015.00	2,544.00	5,126,160.00
COSTO DE TERRENO			5,219.32	
Costo del terreno	m ²	7.00	745.62	5,219.32
DESINFECCIÓN			7,920.00	
Suministro y colocación de bomba dosificadora de cloro Milton Roy	Pza.	7,920.00	1.00	7,920.00
TOTAL			5,663,882.83	
OPERACIÓN			1,965,704.70	
Costo de operación por el periodo de diseño del proyecto.	año	178,085.70	10	1,780,857.00
Desinfección de efluente mediante hipoclorito de sodio al 12%	año	18,484.77	10.00	184,847.70
TOTAL			7,629,587.53	

ANEXO C



H. AYUNTAMIENTO
CONSTITUCIONAL
DEL MUNICIPIO DE
AGUASCALIENTES
2014 - 2016



ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Acuerdo de confidencialidad que celebran, por una parte la COMISIÓN CIUDADANA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES, representada en este acto por ING. J. EVARISTO PEDROZA REYES para los efectos del presente Acuerdo y de conformidad al carácter que le corresponde en adelante "CCAPAMA"; y por la otra, ELISE ANAIS MEDRANO ESCOBEDO, estudiante de Maestría en Ingeniería Civil-Ambiental, de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES, en adelante "RECEPTOR", se ha acordado celebrar el presente Acuerdo de Confidencialidad que se registrá por las siguientes cláusulas, previas las siguientes:

CONSIDERACIONES

1.- Las partes están interesadas en establecer los acuerdos necesarios a fin de que la alumna ELISE ANAIS MEDRANO ESCOBEDO, estudiante de la Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, realice proyecto de tesis, desarrollando el tema "Diagnostico y evaluación de la Laguna de Oxidación de la comunidad de Montoro a fin de reducir su impacto ambiental y la contaminación de la zona".

2. De conformidad con lo establecido por el artículo 17, fracción IV, de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de Aguascalientes que a la letra dice:

Artículo 17. Para los efectos de esta Ley se considera Información Reservada, la siguiente:

IV. Cuando se trate de información sobre estudios, proyectos y presupuestos, cuya divulgación pueda causar daños al interés del Estado o suponga un riesgo para su realización;

Por lo anterior, se obtiene que la información relativa al tema "Diagnostico y evaluación de la Laguna de Oxidación de la comunidad de Montoro a fin de reducir su impacto ambiental y la contaminación de la zona", es de naturaleza Reservada, por lo que, de conformidad a lo establecido en el artículo 18 de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de Aguascalientes, se celebra el presente acuerdo de confidencialidad bajo las siguientes:

CLÁUSULAS

PRIMERA. OBJETO. El objeto del presente acuerdo es fijar los términos y condiciones bajo los cuales las partes mantendrán la confidencialidad de los datos e información intercambiados entre ellas.

SEGUNDA. CONFIDENCIALIDAD. Las partes acuerdan que cualquier información intercambiada, facilitada o creada entre ellas, será mantenida en estricta confidencialidad, asimismo, dicha información será utilizada única y exclusivamente para el proyecto de tesis sobre el tema "Diagnostico y evaluación de la Laguna de Oxidación de la comunidad de Montoro a fin de reducir su impacto ambiental y la contaminación de la zona". La parte receptora correspondiente sólo podrá revelar información confidencial a quienes la necesiten y estén autorizados previamente por la parte de cuya información confidencial se trata.



[Firma manuscrita]



Salvador Quezada Limón 1407 Col. San Marcos
C.P. 20070 Tels. (449) 915 15 13

www.ccapama.gob.mx

[Firma manuscrita]



H. AYUNTAMIENTO
CONSTITUCIONAL
DEL MUNICIPIO DE
AGUASCALIENTES
2014 - 2016



TERCERA. EXCEPCIONES. No habrá deber alguno de confidencialidad en los siguientes casos: a) Cuando la parte receptora tenga evidencia de que conoce previamente la información recibida; b) Cuando la información recibida sea de dominio público y, c) Cuando la información deje de ser confidencial por ser revelada por el propietario.

CUARTA. DURACION. Ambas partes acuerdan que el presente acuerdo tendrá vigencia de un año a partir de la firma del mismo y hasta el 27 de Octubre de 2017.

QUINTA. DERECHOS DE PROPIEDAD. Toda información intercambiada es de propiedad exclusiva de la parte de donde proceda. En consecuencia, ninguna de las partes utilizará información de la otra para su propio uso.

SEXTA. MODIFICACIÓN O TERMINACIÓN. Este acuerdo solo podrá ser modificado o darse por terminado con el consentimiento expreso por escrito de ambas partes.

SÉPTIMA. En caso de controversia respecto a la interpretación, cumplimiento y ejecución del presente Acuerdo, las partes se someten a la legislación y jurisdicción de los tribunales competentes de la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes renunciando expresamente al fuero que pudiera corresponderles por razón de sus domicilios presentes o futuros.

Enteradas las partes del contenido, alcance y fuerza legal del presente Acuerdo, lo firman por triplicado, en la ciudad de Aguascalientes, Ags a 27 de Octubre del 2016.

"CCAPAMA"

"RECEPTOR"

J. EVARISTO PEDROZA REYES
DIRECTOR GENERAL DE CCAPAMA

ELISE ANAIS MEDRANO
ESCOBEDO

TESTIGO

TESTIGO

ING. MAURICIO REGALADO
GONZÁLEZ
DIRECTOR TÉCNICO DE CCAPAMA

LIC. JESÚS ALFREDO NIETO
ESTEBANEZ
DIRECTOR JURÍDICO DE CCAPAMA



Salvador Quezada Limón 1407 Col. San Marcos
C.P. 20070 Tels. (449) 915 15 13

www.ccapama.gob.mx