



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA LOCALIDAD DE NAHUATZEN, MUNICIPIO DE NAHUATZEN, MICHOACÁN”

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

ANTONIO HERRERA MEDINA

ASESOR: M.I. HUGO ALEJANDRO TZINTZUN FLORES



TESIS APOYADA POR EL CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE MICHOACÁN

MORELIA, MICHOACÁN, JUNIO DE 2012

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
HISTORIA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	2
SITUACIÓN ACTUAL EN MICHOACÁN.....	4
CAPITULO I: ANTECEDENTES.....	5
1.1 Historia.....	5
1.1.1 Reseña histórica.....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Particulares.....	6
1.3 Alcances.....	6
CAPITULO II: MARCO FÍSICO.....	7
2.1 Características generales de la localidad.....	7
2.1.1 Localización Geográfica.....	7
2.1.2 Climatología.....	7
2.1.3 Orografía.....	8
2.1.4 Geología y Edafología.....	8
2.1.5 Hidrología.....	9
2.1.6 Flora y Fauna.....	10
2.1.7 Fisiografía.....	10
2.1.8 Topografía y distribución de pendientes.....	11
2.1.9 Infraestructura Hidráulica.....	11
2.1.10 Infraestructura Social y de Comunicaciones.....	12
2.2. Conceptos de trabajo.....	15
2.2.1 Recopilación de datos básicos.....	15
2.2.2 Recopilación de la información.....	15
2.2.3 Visitas de campo a la localidad proyectada.....	15
2.2.4 Desarrollo del proyecto.....	15
2.3 Aspectos socioeconómicos.....	17
2.3.1 Demografía.....	17
2.3.2 Equipamiento.....	19
2.3.3 Proyección de la población.....	19
2.3.4 Crecimiento urbano.....	20
2.3.5 Nivel de vida.....	21

2.4 Principales contaminantes y tipos de industrias.....	21
2.5 Descarga de aguas residuales municipales e industriales.....	21
2.6 Calidad de las agua residuales	22
2.7 Aprovechamientos de las aguas residuales.....	22
CAPITULO III: MARCO TEORICO.....	22
3.1 Clasificación de las aguas residuales.....	22
3.1.1 Aguas Residuales Urbanas.....	22
3.1.2 Aguas Residuales Industriales.....	23
3.2 Características y composición de las aguas residuales.....	23
3.2.1 Características físicas.....	25
3.2.2 Característica químicas.....	27
3.2.3 Características biológicas.....	28
3.2.3.1 Tiempos de supervivencia de bacterias.....	29
3.3 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	29
3.4 Sistemas de tratamiento.....	30
3.5 Tratamientos de las aguas residuales municipales.....	31
3.5.1 Pretratamiento.....	32
3.5.2 Tratamiento Primario.....	37
3.5.3 Tratamiento Secundario.....	39
3.5.4 Tratamiento Terciario.....	41
3.6 Ubicación de las descargas.....	44
3.7 Proyecciones y cálculo de gastos.....	45
3.7.1 Gastos de diseño.....	45
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	47
4.1 Aeración extendida y desinfección.....	48
4.2 Sistema RAFA, filtro rociador, sedimentador secundario y desinfección.....	51
4.3 Sistema de lagunas de estabilización: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.....	53
4.4 Evaluación de las alternativas de solución.....	56
4.5 Elección de la alternativa de solución.....	58
CAPITULO V: DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	62
5.1 Lagunas de estabilización.....	62
5.1.1 Clasificación de las lagunas de estabilización.....	63
5.1.2 Ventajas y desventajas del uso de lagunas de estabilización.....	64

5.2 Descripción del proceso de tratamiento de lagunas de estabilización.....	65
5.2.1 Lagunas anaerobias.....	65
5.2.2 Lagunas facultativas.....	66
5.2.2.1 Factores que intervienen en su funcionamiento.....	67
5.2.3 Lagunas de maduración o pulimento.....	70
5.3 Diseño de lagunas de estabilización.....	71
5.3.1 Conceptos básicos de diseño.....	71
5.3.2 Diseño de lagunas anaerobias.....	73
5.3.2.1 Método de Yáñez.....	74
5.3.2.2 Método de la Comisión Nacional del Agua.....	76
5.3.3 Diseño de lagunas facultativas.....	77
5.3.3.1 Método de la Comisión Nacional del Agua.....	79
5.3.4 Diseño de lagunas de maduración o pulimento.....	81
CONCLUSIONES.....	83
BIBIOGRAFIA.....	84
ANEXO 1: COSTOS.....	85
ANEXO 2: SITUACION ACTUAL DE LAS PTAR's A NIVEL NACIONAL Y ESTATAL.....	86
ANEXO 3: PLANOS.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n° 1: Distribución de pendientes.....	11
Tabla n° 2: Número de instituciones educativas (en la localidad de Nahuatzen).....	12
Tabla n° 3: Demografía de la localidad de Nahuatzen.....	17
Tabla n° 4: Grado de marginación de la localidad de Nahuatzen.....	17
Tabla n° 5: Datos estadísticos de la población de Nahuatzen.....	20
Tabla n° 6: Proyección de la población.....	20
Tabla n° 7: Composición típica de las aguas crudas de origen domestico.....	24
Tabla n° 8: Contaminantes limitados por la NOM-001-ECOL-96, de los parámetros químicos y su importancia sanitaria.....	28
Tabla n° 9: Contaminantes limitados por la NOM-001-ECOL-96, de los parámetros biológicos y su importancia sanitaria.....	29
Tabla n° 10: Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	30
Tabla n° 11: Criterios de diseño para el cálculo de rejillas.....	34
Tabla n° 12: Cantidades de material retenido en las rejillas.....	34
Tabla n° 13: Tiempos mínimos requeridos para la flotación de grasas.....	37
Tabla n° 14: Dosis típicas de cloro para desinfección.....	43
Tabla n° 15: Consideraciones para el cálculo del gasto de diseño.....	45
Tabla n° 16: Cálculo del gasto de diseño.....	46
Tabla n° 17: Límites máximos permisibles de contaminantes básicos.....	47
Tabla n° 18: Parámetros de acuerdo a la CNA.....	48
Tabla n° 19: Inversiones requeridas para las alternativas de solución.....	58
Tabla n° 20: Desglose de inversión de la alternativa 1 (aeración extendida y desinfección).....	59
Tabla n° 21: Desglose de inversión de la alternativa 2 (RAFA, filtro rociador, Sedimentador secundario y desinfección).....	60
Tabla n° 22: Desglose de inversión de la alternativa 3(Lagunas de estabilización).....	61
Tabla n° 23: Variables de las lagunas anaerobias de Al Samra.....	75
Tabla n° 24: Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles en función de la temperatura.....	76
Tabla n° 25: Constantes de decaimiento de DBO remanente.....	80
Tabla n° 26:Constantes de decaimiento bacteriano.....	81

INDICE DE FIGURAS

Figura n° 1: Localización del municipio de Nahuatzen.....	7
Figura n° 2: Vías de comunicación.....	14
Figura n° 3: Macrolocalización de la P.T.A.R.....	16
Figura n° 4: Microlocalización de la P.T.A.R.....	16
Figura n° 5: Sedimentador secundario.....	37
Figura n° 6: Diagrama de proceso de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	43
Figura n° 7: Diagrama del proceso de tratamiento de la alternativa n° 1.....	51
Figura n° 8: Diagrama del proceso de tratamiento de la alternativa n° 2.....	53
Figura n° 9: Diagrama del proceso de tratamiento de la alternativa n° 3.....	56
Figura n° 10: ubicación de la P.T.A.R.....	57
Figura n° 11: Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativa.....	66
Figura n° 12: Dispersión de la radiación solar en un cuerpo de agua.....	68
Figura n° 13: Esquema de una laguna anaerobia.....	73
Figura n° 14: Laguna facultativa típica.....	78
Figura n° 15: Fluctuación de oxígeno disuelto (OD) en una laguna facultativa.....	78

BIBLIOGRAFIA:

1. El reto de los Sistemas de Drenaje y de las Plantas de Tratamiento, Secretaria de Planeación y Desarrollo Estatal (2002 – 2008).
2. Secretaria de Gobernación, Gobierno del Estado de Michoacán, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Centro Estatal de Estudios Municipales: los municipios de Michoacán.
3. Enciclopedia de los Municipios de México, Michoacán: Nahuatzen.
4. Base de datos del H. Ayuntamiento del Municipio de Nahuatzen (2008 – 2011), Dirección de Urbanística y Obras Publicas.
5. Base de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INNEGI), Comisión Nacional de Población (CONAPO) y Cartas Topográficas.
6. Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS 2007), “Datos Básicos”, Diciembre, 2007.
7. Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evacuación y Reutilización de las Aguas Residuales; Segunda Edición Metcalf & Eddy, Inc.
8. Técnicas Básicas de Ingeniería, Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales; Metcalf & Eddy, Editorial Labor, S. A.
9. Ingeniería Sanitaria, Redes de Alcantarillado y Bombeo de Aguas Residuales; Metcalf & Eddy.
10. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, “Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos”, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Septiembre, 1994.
11. Tratamiento de Aguas Residuales, R. S. Ramalho, Faculty of Science and Engineering, Laval University, Quebec, Canadá.
12. Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización, Tercera Edición; Jairo Alberto Romero Rojas, Ed. Alfaomega, 1999.
13. Estadísticas del Agua en México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), edición 2011.
14. Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS 2007), “Diseño de Lagunas de Estabilización”, Diciembre, 2007.
15. Comisión Nacional del Agua, Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, Diciembre de 2010.

INTRODUCCIÓN

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos, para que puedan ser aprovechados por los seres vivos; de aquí que uno de los recursos de vital importancia para el hombre, como lo es el agua, sea objeto de estudio.

Toda comunidad o lugar de poca o gran dimensión donde exista vida humana, se generan a diferentes escalas residuos tanto líquidos como sólidos y estos a su vez fueron contaminados derivado de diversas actividades o procesos a los que fueron sometidos. En este proyecto se habla de aguas residuales, las cuales las podemos definir como una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de diferentes lugares donde exista actividad humana.

Por tal motivo se hace necesaria la prevención de la contaminación del agua y del suelo, de manera que esto es solamente posible si se definen técnicas apropiadas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. Sin embargo ningún programa de control tendrá éxito si no se cuenta con los recursos financieros para su implantación, operación y mantenimiento permanente.

De acuerdo con diversos estudios y caracterizaciones, se ha afirmado que la cantidad total de excrementos humanos húmedos es alrededor de 80 a 270 gramos por persona al día, que la cantidad de orina es de 1 a 1.3 kilogramos por persona al día y que un 20% de la materia fecal húmeda y un 5% de la orina húmeda es material orgánico putrescible. De manera tal que el agua residual domestica cruda es putrescible, olorosa, ofensiva y un riesgo para la salud humana.

Si tomamos en cuenta que las aguas residuales que no reciben ningún tipo de tratamiento, tienen como punto final de evacuación a nuestros ríos o lagos, nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas y, a medida que aumenta el número de habitantes de una localidad, arrastra consigo la necesidad de proveer y ejecutar sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente, generados mediante las descargas de aguas residuales sin tratar.

La descarga de aguas residuales a las fuentes receptoras ha sobrepasado, en muchos casos, la capacidad autopurificadora de dichas aguas, debido a esto muchos ríos son convertidos en verdaderas alcantarillas. Mediante este proyecto de tesis, cuyo aspecto fundamental es proporcionar el tratamiento adecuado a las aguas residuales, dependiendo de la carga que es capaz de aceptar el río, lago o cuerpo receptor de agua.

La situación actual que vivimos hoy en día, los avances tecnológicos, el crecimiento demográfico, así como la intensidad de las actividades económicas y de supervivencia de la sociedad mexicana da como resultado el aumento del uso del vital líquido como lo es el agua. Los posibles escenarios de demanda permiten perfilar políticas de manejo y prever estrategias institucionales para enfrentar necesidades cada vez mayores, bajo presiones de fuentes y escasez recurrente del vital líquido.

Es por ello que mediante este proyecto de tesis, se presentan y se analizan los posibles sistemas de solución que den como resultado el tratamiento de las aguas residuales municipales generadas en la localidad de Nahuatzen, Michoacán.

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos u otras fuentes de abastecimiento.

Es importante señalar que en todo nuestro país existe un problema muy fuerte como lo es la contaminación de ríos, lagos, lagunas, tierras que son cultivables, entre otros, debido a las descargas de los sistemas de alcantarillado sanitario, tanto de aguas domésticas como industriales y que por diversas causas no han sido tratadas.

Por ser el agua un elemento indispensable para la vida e imprescindible como herramienta de trabajo, resulta de gran importancia el cuidado del abastecimiento del agua limpia y potable, y el reconocimiento de los métodos a emplear para el tratamiento de ésta a fin de que pueda ser reubicada o reutilizada. Las aguas residuales conforman esos desechos líquidos a tratar para su vertido o reutilización, que se originan bien sea por procesos industriales o por uso doméstico.

Por tal motivo se hace necesario un tratamiento previo para que puedan ser desechadas o introducidas nuevamente en la red de abastecimiento. Estos tratamientos contemplan una serie de procesos y equipos específicos. Para lo cual el presente proyecto de tesis, esta en posibilidad de facilitar el acceso a la información necesaria sobre los métodos de tratamiento de aguas residuales, así como las alternativas de solución para este caso a una localidad en particular, ya que se presenta desarrollado muy ampliamente para fácil entendimiento a personas que se interesen en difundir y aplicar los diferentes métodos de tratamientos de aguas residuales.

El papel fundamental para el control de la contaminación generado por las descargas de aguas residuales, ha sido tratar las mismas en plantas de tratamiento de aguas residual que hagan parte del proceso de remoción y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Por tal motivo, el nivel de tratamiento es función de la capacidad de autopurificación natural de la fuente receptora. A la vez la capacidad autopurificación natural es función, en primer lugar del caudal del cuerpo receptor, de su contenido de oxígeno y de su habilidad para reoxigenarse.

HISTORIA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Los pueblos antiguos no necesitaban obras de ingeniería para su aprovisionamiento de agua. Cazadores y nómadas acampaban cerca de las fuentes naturales de agua fresca, y las poblaciones estaban tan dispersas que la contaminación del agua no constituía un serio problema.

Cuando se desarrolló la vida en comunidad y las aldeas agrícolas se transformaron en centros urbanos, el suministro de agua se convirtió en un problema para los habitantes de las ciudades y para el riego de los campos circundantes. Se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias.

El primer pueblo en tener en cuenta la sanidad del suministro de agua fue el pueblo romano, que construyó una extensa red de acueductos para traer las aguas limpias de los montes Apeninos hasta la ciudad, intercalando estanques y filtros a lo largo del recorrido del agua para asegurar su claridad. La construcción de estos sistemas de suministro de agua decayó con la desintegración del Imperio romano, y durante varios

siglos, las fuentes de suministro de agua para fines domésticos e industriales fueron las fuentes y manantiales locales. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica.

Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas.

El invento de la bomba en Inglaterra a mediados del siglo XVI impulsó las posibilidades de desarrollo de sistemas de suministro de agua. En Londres la primera obra de bombeo de aguas se finalizó en el año 1562.

Se bombeaba agua de río a un embalse a unos 37 m por encima del nivel del Támesis, y desde el embalse se distribuía a los edificios vecinos a través de tuberías, aprovechando la fuerza de la gravedad.

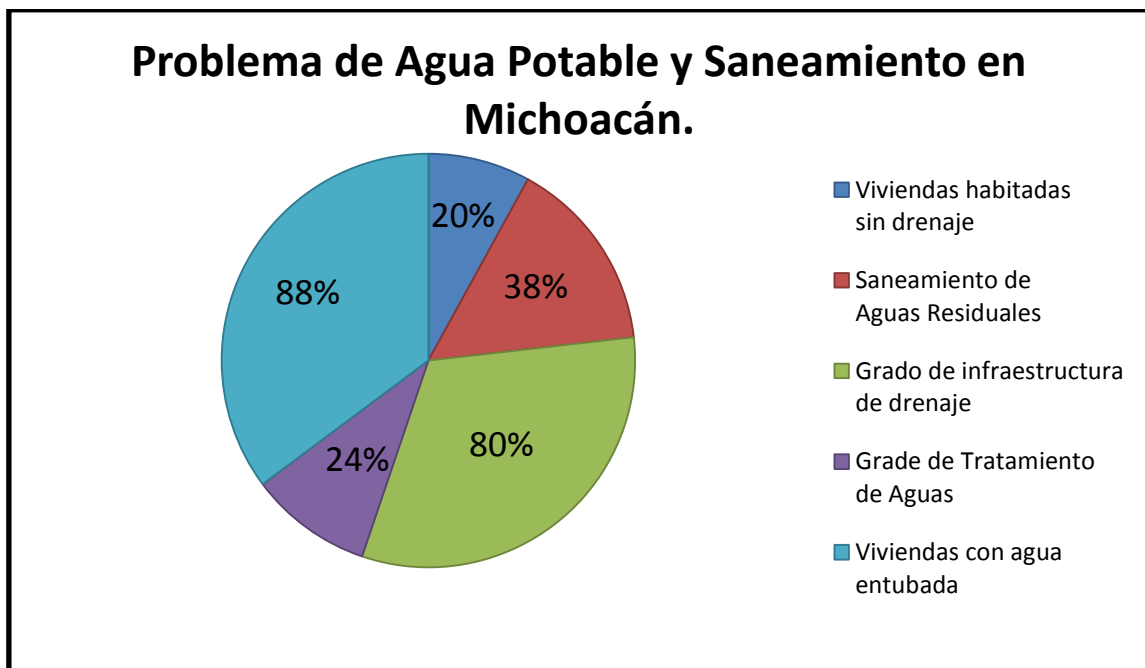
Se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a éstos por el desperdicio de recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.

En los últimos años ha aumentado el interés en la conversión de agua de mar en agua potable en regiones muy secas como en Oriente Próximo. Diversos procesos como destilación, electrodiálisis, ósmosis inversa y evaporación por congelación directa se han desarrollado para este fin. A pesar de sus buenos resultados, estos procesos de tratamiento de agua de mar son mucho más costosos que el tratamiento del agua dulce. El agua residual ya limpia se puede usar para irrigación o puede ser arrojada de nuevo a un lago o río. Para poder descargar y eliminar el agua residual, se deben cumplir ciertas normas establecidas por los gobiernos federales y estatales. Los sólidos del agua residual, al cumplir normas adicionales para uso benéfico, son llamados biosólidos, estos pueden usarse como fertilizantes.

SITUACIÓN ACTUAL EN MICHOACÁN

En nuestro país, el cual tiene una población de más de 110 millones de habitantes, mientras que en el estado de Michoacán se tiene registrado una población de más de 4 millones de habitantes, según datos proporcionados por el INEGI, es verdaderamente lamentable que 11 millones de personas carezcan del vital líquido y el 75% del agua dulce se usa para cultivos. En Michoacán casi el 20% de las viviendas habitadas no cuentan con drenaje, el saneamiento de su agua es de apenas 38% además de que no existe en el estado una cultura ecológica y económica del agua. A continuación se presenta una gráfica donde se muestra la situación actual de nuestro estado de Michoacán.



Grafica N° 1: Problema de Agua Potable y Saneamiento en Michoacán.

Además de que en nuestro estado, debido a que la accidentada geografía y la dispersión poblacional hacen particularmente complicado resolver el problema de drenaje y tratamiento de aguas residuales.

- El 68% de la población se ubica en 177 localidades urbanas, localidades con más de 2,500 habitantes.
- El 32% de la población se ubica en 9,000 localidades rurales donde la pobreza extrema es mayor, existe el mayor porcentaje de población sin acceso a estos servicios.
- Michoacán cuenta con casi 80% de viviendas habitadas con drenaje, 10.5% de ese porcentaje son viviendas con fosa séptica.
- Existen en Michoacán 24 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación.

CAPITULO I: ANTECEDENTES

A cerca del significado de la palabra Nahuatzen, existen dos hipótesis, donde la primera menciona que la palabra deriva de dos vocablos purhépechas: NANA “Señora o Mujer” y UATSI “Joven o Doncella”.

La segunda hipótesis señala que la palabra proviene del vocablo “Yahuani”, el cual es de origen Chichimeca que significa “lugar donde hiela”. Esta localidad es uno de los municipios más antiguos de Michoacán, cuya fundación data del siglo XVI, aunque se considera de más antigüedad, ya que se considera que en la misma localidad los chichimecas fundaron un pueblo con el nombre de Yahuani.

1.1 Historia

En este apartado se hará una breve descripción de la fundación así como los principales acontecimientos que dieron origen a la fundación de la localidad de Nahuatzen, hoy en día cabecera municipal de su mismo nombre, considerada en categoría como una ciudad pequeña con grandes cambios y en desarrollo continuo.

Motivo por el cual se decidió llevar a cabo la proyección de una planta de tratamiento de aguas residuales en dicho municipio.

1.1.1 Reseña Histórica:

Al parecer la fundación de la localidad de Nahuatzen, se remontan hacia la mitad del siglo XVI (1525) por tribus de Xaracatan, (poblado llamado por los españoles San Juan Zaracatán) situado a unos tres kilómetros y medio al sureste del actual pueblo de Nahuatzen.

La fundación de Nahuatzen, según la tradición, una parte de los de Nahuatzen, vinieron de un pueblo llamado hoy “El Cortijo” se vinieron a Nahuatzen porque les gustó para descansar, este pueblo “El Cortijo” estaba junto a una laguna con muy poca agua, por lo que decidieron abandonarlo, luego se les unieron otros pequeños pueblos como fueron: San Miguel, Xaracatan, El Rincón y algunos otros y todos convinieron en formar un solo pueblo [2].

El antropólogo Gonzalo Aguirre Beltrán, escribe lo siguiente sobre su fundación: Nahuatzen, no parece haber sido un pueblo tarasco, sino una inclusión “Teca” establecida en el corazón serrano, su iglesia conserva todavía la fecha 1550, en que al parecer fue construida por los franciscanos y dedicada a San Luis Rey de Francia.

Esta fecha señala además de la fundación de la iglesia la del pueblo, cuyo antiguo asentamiento, según se dice, estaba a tres kilómetros y medio al sur, en el lugar llamado Xaracatan [2].

Entre los pueblos más antiguos de Michoacán se encuentra Cherán, Sevina y Xaracatan, este último se fue despoblando durante la conquista española a causa de las enfermedades y la mayor parte de la población escogió para radicar el sitio donde ahora se encuentra Nahuatzen, de aquí que la fundación data a mediados del siglo XVI, aunque se considera que en el lugar donde se encuentra Nahuatzen los chichimecas fundaron un pueblo con el nombre de “Yahuani”.

Durante todo el siglo XVIII, “Nahuatzen” siguió siendo sujeto de Sevina, aunque al parecer había adquirido cierta importancia. En 1822 pertenecía a la Tenencia de Paracho, contaba con 1,451 habitantes, que se dedicaban a curtidores, al oficio de zapateros, a producir frutas y a la explotación de la madera.

Por la Ley territorial del 10 de Diciembre de 1831, se constituyó en municipio. El 25 de marzo de 1836, por decreto del Congreso del Estado, se le segregó la tenencia de Comachuén, quien pasó a la jurisdicción de Tingambato. Hoy en día Comachuén forma parte del municipio de Nahuatzen [2].

La fundación del pueblo se atribuye a Fray Juan de San Miguel en el siglo XVI, quien asigno a la comunidad un santo patrón (San Luis Rey) y además asignaba una actividad productiva (la manufactura de telas de lana), aunque según cuentan el origen del patrón de Nahuatzen proviene de unos indios pobladores; ya que la comunidad contaba con 4 barrios y había riña frecuente de 3 barrios contra el barrio de San Luis, por lo que finalmente huyeron para unirse a los pobladores de la loma de Tzirimbo.

El pueblo a medida que fue creciendo y civilizándose pasaron a cambiarle el nombre por el de Yahuatzen, ya que el sitio es un lugar donde hiela, que finalmente traducido al español se escribe Nahuatzen.

1.2.- Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer mediante el análisis correspondiente las alternativas de tratamiento de agua residual, bajo las normas de calidad existentes que den solución a tan grave problema como lo es las descargas de los sistemas de drenaje municipal para la localidad de Nahuatzen, Michoacán.

1.2.2 Objetivos particulares

- 1.- Identificar la calidad del agua residual de la localidad en cuestión.
- 2.- Seleccionar la mejor alternativa que de solución al sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.
- 3.- Dimensionar el sistema de tratamiento más adecuado para la localidad de Nahuatzen, Michoacán.

1.3 Alcances

Si tomamos en cuenta no solo una localidad en particular (Nahuatzen), sino que en todo nuestro país existe el problema del correcto y/o adecuado sistema de tratamiento para las aguas residuales municipales, las alternativas que en este proyecto de tesis se presentan son aplicables en cualquier zona de nuestro país, en cuya zona se presente o se localice el desequilibrio ecológico. Las condiciones de vida y recursos existentes determinaran el establecimiento del método para el tratamiento de las aguas residuales.

CAPITULO II: MARCO FÍSICO

2.1 Características generales de la localidad

2.1.1 Localización geográfica:

La localidad de Nahuatzen, municipio de su mismo nombre, tiene la categoría política de pueblo y está considerada como una localidad de tipo semiurbana – rural. Se localiza al noroeste del estado, bajo las siguientes coordenadas:

Latitud norte 19°39'13''

Longitud oeste 101°54'57''

A una altura de 2,420 metros sobre el nivel del mar.

Dicha localización es de acuerdo a la carta topográfica No E14-A21 de los planos de la Dirección de Cartografía del INEGI.

Limita con los siguientes municipios:

Al Norte: con el municipio de Zacapu.

Al Este: con el municipio de Erongarícuaro.

Al sur: con los municipios de Tingambato y Uruapan.

Al Oeste: con los municipios de Cherán y Paracho.

Su distancia a la capital del Estado es de 117 kms. Su extensión es de 304.48 km² y representa un 0.52% de la superficie total del total del estado.



Figura N° 1: Localización del municipio de Nahuatzen.

2.1.2 Climatología

El clima que se presenta en el municipio de Nahuatzen son de dos tipos de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García, en la parte poniente donde se ubica el cerro “La Virgen” la clave es C (E) (W2) (W) que corresponde al tipo de clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, un % de precipitación invernal menor de 5,

siendo el más húmedo; por otro lado, se tiene el C(w2)(w) que corresponde al tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, un % de lluvia invernal menor de 5 y también es el más húmedo comprendiendo el 90% del Municipio. La temperatura media anual tiene un rango entre 12 a 14°C, registrándose la media mensual más alta en mayo (13.1°C) y la mínima en diciembre (7.6°C). La precipitación media anual fluctúa entre 1,200 y 1,500 mm, el mes en que llueve con mayor abundancia es agosto, pues precipita casi un tercio de la total anual.

Las heladas y sobre todo las nocturnas son más comunes durante los meses de Noviembre a Marzo y llegan a registrarse más de 120 noches al año con temperaturas por debajo de los 0.0° C.

De forma general se puede concluir que el clima de este municipio es templado con lluvias en verano así como templado con lluvias casi todo el año. Tiene temperaturas que oscilan de los 2.3° C a 20.4° C en promedio del año. Cabe mencionar que durante la temporada de invierno presenta temperaturas que oscilan a los 2° C bajo cero.

2.1.3 Orografía

La orografía que se presenta en el Municipio es la característica de la subprovincia neo volcánica tarasca con elevaciones y lomeríos que contienen a diferentes valles intermontanos, dominada por la gran sierra volcánica, existiendo basaltos, brecha volcánica y toba.

El Municipio de Nahuatzen se encuentra en el altiplano casi en el centro de la meseta tarasca, caracteriza por un vulcanismo reciente (Plioceno-Cuaternario) tiene más de 10 volcanes de cono algo erosionados, entre los que se destacan por su altura. El Pílon, La Virgen, El Mateño y El Huaxan El Tecolote el "Mesteño", El Juanillo, la mayoría son cineríticos (se caracteriza por la expulsión de cenizas) de una sola fase eruptiva, basálticos y están a una altitud de 2,300 metros hacia arriba. Su característica más importante es que está conformado por una gran llanura en la zona baja de la micro cuenca y laderas abruptas que suben hacia los conos algo erosionados.

Existen superficies planas con una elevación de 2,000 a 2,500 metros sobre el nivel del mar y que se dedican al cultivo del maíz y en menor escala, la de los cereales como avena, trigo, cebada, que más que para el consumo humano, son más para proporcionar alimento al ganado vacuno o bovino.

La orografía de esta localidad esta constituida por el sistema volcánico transversal, la Sierra de Nahuatzen la constituyen los siguientes cerros:

- El Pílon
- Las Flores
- El Juanillo
- Los Cuates

2.1.4 Geología y Edafología

Se ubica en la provincia fisiográfica del eje Neo volcánico, subprovincia Neo volcánica Tarasca, extendida esta última en una superficie de 7,750 km² que abarca en su totalidad a los municipios de Los Reyes, Cherán, Paracho, Nahuatzen, Huiramba, Acuitzio, Charapan, Erongarícuaro, Tzintzuntzan, Pátzcuaro y Lagunillas. Esta

provincia presenta un volcanismo reciente, el cual levantó cadenas de aparatos volcánicos, que van de los 2,400 a los 3,300 msnm., la gran mayoría de basaltos. 1

El área de aplicación está constituida por aluvión, basalto, brecha volcánica basáltica y toba basáltica, cubiertas por andosoles. Esta zona presenta accidentes morfológicos y se clasifica como zona sísmica, aunque sin antecedentes de deslizamientos, fuertes derrumbes o cualquier otro movimiento de tierras o rocas.

El suelo del ámbito de aplicación pertenece al grupo de los andosoles, incluyendo los subgrupos del andosol húmico y andosolócrico, el cual es clasificado como colapsable.

El andosol es un suelo de origen volcánico constituido principalmente de ceniza con alto contenido de alófono. En Michoacán se extiende territorialmente en las regiones de mil cumbres y la neo volcánica tarasca. Son generalmente de colores oscuros con alta capacidad de retención de humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva. Tienen generalmente bajos rendimientos agrícolas porque retienen el fósforo que las plantas no pueden absorber. El uso más favorable para su conservación es el forestal ya que son muy susceptibles a la erosión eólica.

El andosol húmico es un suelo con una capa superficial oscura y rica en materia orgánica pero ácida y pobre en algunos nutrientes importantes para las plantas. El andosolócrico presenta una capa de color claro muy pobre en materia orgánica.

2.1.5 Hidrología

Nahuatzen se encuentra en la región hidrológica del “Río Balsas” (No. 18), la cual comprende un área de 34,293.79 Km² y en el estado se ubica en la porción central.

La hidrología puede considerarse el elemento más importante en el Municipio, ya que de la distribución de las aguas superficiales y subterráneas depende la sobrevivencia de sus pobladores; pero, a pesar de tal situación las comunidades en su interior han descuidado tal elemento y en estos momentos se encuentran en riesgo de perder el vital líquido de los manantiales que los abastecen. La distribución hidrológica presenta un drenaje combinado entre radial y paralelo asociado al control estructural de los conos volcánicos que implican una posibilidad latente de erosión que viene en aumento en los últimos 25 años, esto quiere decir que el desahogo de los escurrimientos es rápido, asociando la hidrología con la topografía del área. Su ubicación hidrológica es en la parte alta de la RH-18 (Balsas) y al norte de la cuenca Tepalcatepec-Infiernillo formando parte de la Subcuenca endorreica Paracho-Nahuatzen lo que apunta a considerarse como una micro cuenca productora de agua como parte de un servicio ambiental importante hacia cuencas ubicadas aguas abajo del sistema.

Toda la red de drenaje es de tipo efímero y temporal, no posee ningún tipo de escurrimiento perenne que les permita un desarrollo mayor en las actividades agropecuarias. El drenaje es de segundo y tercer orden.

Dentro de la región hidrológica del Río Balsas se ubica la cuenca del “Río Tepalcatepec” (18J) que ocupa una superficie en el estado de 8267.7 Km², su corriente principal es el río Tepalcatepec, que tiene entre sus principales afluentes al río Quitupán y al río Marqués, que en un tramo recibe el nombre de Cupatitzio.

A 13 km al suroeste de Ario de Rosales nace el río Zicuirán, después de recorrer 40 Km deposita sus aguas en la presa del mismo nombre (Zicuirán), de este almacenamiento se continúa al Tepalcatepec, que después de 11 Km llega al embalse de la presa El Infiernillo, donde junto con el Balsas forman uno de los embalses más importantes del país. El río Balsas 32 Km debajo de la presa El Infiernillo, recibe por su margen derecha al río Las Juntas y 17 Km abajo descarga en la presa José María Morelos, (La Villita). Después de 2 Km de este último embalse, el río bifurca formando una zona deltaica hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Pertenece a esta cuenca gran parte del distrito de riego “Lázaro Cárdenas” (DR97), donde son irrigadas aproximadamente 27,244 Ha en la porción central.

El gasto promedio de los escurrimientos de esta área es de 14,265 m³/seg, que corresponden al 3.81% del total del estado.

2.1.6 Flora y fauna

En esta localidad predomina el bosque como el de coníferas, con pino, oyamel y junípero; y el bosque mixto, con pino, encino y cedro. En la actualidad es difícil poder encontrar un oyamel debido a la problemática que la región presenta derivado de la tala clandestina.

La fauna de la localidad de Nahuatzen está conformada por cacomixtle, coyote, gato montés, liebre, ardilla, zorrillo, codorniz, chachalaca, torcaz y pato.

2.1.7 Fisiografía

Los límites del estado de Michoacán encierran áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas del país: La Sierra Madre del Sur y El Eje Neovolcánico. De forma general Nahuatzen se ubica en la Provincia de la Sierra Madre del Sur; esta gran región, considerada la más compleja y menos conocida del país, debe muchos de sus rasgos particulares a la estrecha relación que guarda con la placa de cocos, una de las placas móviles que hoy se sabe integran la litósfera o corteza terrestre exterior.

La Sierra Madre del Sur ha sido clasificada como una de las regiones florísticas más ricas del mundo, en la cual se manifiesta un alto grado de endemismo (riqueza en especies exclusivas de la región). La diversidad de comunidades vegetales es amplia, así, en la Depresión del Balsas y en la zona suroriental predomina la selva baja caducifolia, en tanto que en los bosques de encino y pino se encuentran diseminados en los sitios de mayor altitud. En la franja costera del sur se desarrolla la selva media subcaducifolia y sobre las cadenas orientales hacia la Llanura Costera del Golfo Sur, los bosques mesófilos de niebla y Humedad.

El mayor sistema fluvial de la provincia es el del río Balsas, con su afluente principal, el Tepalcatepec. El Balsas, que desemboca al Océano Pacífico en Zacatula, Guerrero, es uno de los siete ríos más relevantes del país.

Las corrientes más importantes que se localizan en la subprovincia son la del Balsas y la del Atoyac. La primera atraviesa a la Cordillera desde la depresión del Tepalcatepec, en tanto que la segunda lo hace de las Sierras Centrales de Oaxaca.

En general podemos concluir que entre los sistemas de topografías predominantes están, la gran sierra volcánica compleja, la sierra de laderas abruptas y los valles.

- Microcuencas

La microcuenca San Isidro se ubica dentro de los municipios de Nahuatzen y Tingambato del Estado de Michoacán, comprendiendo terrenos de las comunidades indígenas de Sevina, Col. Emiliano Zapata, La Mohonera, Del ejido de San Isidro, dentro de su parte aguas se asientan las poblaciones de San Isidro y la Col. Emiliano Zapata. Tiene una superficie de 5,387.5208 Has. Es una microcuenca endorreica cuyo flujo principal deriva hacia el plan de Cananguio y desahoga en una barranca que es afluente del Lago de Pátzcuaro.

El uso actual del suelo es agrícola y forestal y su aptitud preponderadamente agrícola.

2.1.8 Topografía y distribución de pendientes

La configuración topográfica del Municipio tiene mucho que ver con la actividad tectónica y el vulcanismo que ha conformado un relieve en laderas y planicies; además de la actividad antropogénica para la explotación de sus recursos naturales, de tal manera que se hace necesaria una clasificación topográfica que identifique las fronteras hasta las que puede ser factible una actividad agrícola intensiva con rendimientos adecuados, para el efecto se tiene elaborado un mapa de distribución de pendientes que den idea de la magnitud de cómo está distribuida la superficie a fin de poder planear las actividades a desarrollar en cada rango, sin considerar otras características del área como son clima y tipo de suelo. Las elevaciones que forman el parteaguas son:

NOMBRE DEL CERRO	ELEVACION (msnm)
El Pilón	3,500
La Virgen	3,300
La Bandera (El Valiente)	3,000
Tejocote Ancho	2,820
Hoya Uretzen	2,580
Huatzequeri	2,380
El Capen	2,500
El Juanillo	2,550

Tabla N° 1: Distribución de pendientes.

Además, la parte más baja de del Municipio se encuentra en la micro cuenca de Arantepacua en el punto denominado Huatpexo, que en temporadas de lluvias abundantes forma una especie de laguna temporal.

2.1.9 Infraestructura hidráulica

Básicamente dentro de este aspecto hablaremos de tres puntos importantes que forman parte de la infraestructura hidráulica de la localidad de Nahuatzen:

- Agua Potable

El agua que se consume en la localidad de Nahuatzen proviene de un manantial y un pozo, los fraccionamientos irregulares no cuentan con red de agua potable, el resto del área urbana si cuenta con este servicio.

Del pozo, se bombea el agua a un cárcamo de bombeo, y de éste a un tanque regulador ubicado en la cima del cerro del Guaxán de la misma localidad, de donde se traslada por gravedad al tanque regulador que distribuye el flujo.

De acuerdo a la información del organismo operador, el agua es de buena calidad y recibe desinfección, consistente en una solución clorada, que se aplica en la línea de conducción.

- Alcantarillado

La localidad no cuenta con un sistema adecuado de drenaje y alcantarillado por lo que se descarga a los escurrimientos naturales, generando graves problemas de contaminación, tanto del suelo específicamente a las tierras de cultivo, así como del aire, debido al mal olor y a las partículas suspendidas.

Únicamente el 3% de las viviendas cuentan con servicio, el resto cuenta con letrinas o fosas sépticas secas.

Para evitar inundaciones, se construyó un colector de aguas pluviales, sin embargo, muchas personas conectaron su drenaje en este colector con la consecuente molestia de las descargas a cielo abierto.

- Obras hidráulicas

En lo que se refiere a obras hidráulicas, actualmente no se cuenta con ninguna infraestructura como pudieran ser: planta de tratamiento, planta potabilizadora, o infraestructura hidroagrícola.

2.1.10 Infraestructura Social y de Comunicaciones

- Educación

En cuanto a la educación, esta se imparte principalmente en instituciones gubernamentales, el municipio cuenta con centros educativos que van desde preescolar, primaria, secundaria, así también cuenta con un Centro de Bachillerato Técnico Agropecuario (CBTA), cabe mencionar que la iniciativa privada tiene una participación menor dentro de este rubro. De forma general se cuenta con el siguiente número de instituciones educativas que van desde preescolar hasta el nivel medio superior:

EDUCACIÓN	TOTAL
Preescolares	13
Primarias	18
Secundarias	7
Nivel Medio Superior	2

Tabla N° 2: Número de instituciones educativas.

- Comercio

Esta localidad es puede ser considerada como una ciudad pequeña o bien un centro urbano, debido a que la mayor parte de su actividad comercial se desarrolla en el centro del municipio, cabe mencionar que un día a la semana se lleva a cabo un tianguis comercial.

Por otro lado esta localidad también cuenta con algunos otros tipos de negocios a las orillas de la misma, restaurantes, tiendas de calzado, ropa, papelerías, materiales para la construcción y tiendas misceláneas.

- Salud

Los servicios de salud así como asistencia social se prestan principalmente en tres clínicas del IMSS, mismas con las que cuenta esta localidad, además de que también se tiene consulta externa para los derechohabientes del ISSSTE, finalmente se cuenta con médicos y consultorios particulares.

- Abasto

La localidad abastece sus necesidades cotidianas principalmente de un tianguis semanal, el cual se lleva a cabo el día sábado, cuenta con un mercado municipal donde se pueden encontrar los productos básicos y carnicería, así como de tiendas misceláneas en las orillas de la localidad, se cuenta también con un banco y hotel, además de diversos comercios de bienes y servicios.

- Deporte y esparcimiento

Dentro de este rubro la localidad cuenta con una unidad deportiva (donde podemos encontrar canchas de futbol, basquetbol, voleibol), también se cuenta con una cancha de futbol rápido. Por otro lado se dispone de dos plazas de toros mismas que son utilizadas para sus fiestas patronales y jaripeos.

- Servicios públicos

Referente a este aspecto la localidad tiene la mayoría de sus calles y avenidas principales pavimentadas, algunas de concreto y otras de adoquín.

En general la cobertura de servicios públicos de esta localidad está basada de acuerdo a apreciaciones de H. Ayuntamiento, el cual establece lo siguiente:

- Agua Potable 80 %
- Drenaje 45%
- Pavimentación 80 %
- Alumbrado Público 70 %
- Electrificación 95 %
- Recolección de Basura 70 % en la cabecera municipal.
- Mercado Si hay.
- Rastro cubre el 80% de la demanda.
- Cloración del agua 80 %
- Seguridad Pública 70 %

Además, el ayuntamiento administra los servicios de parques y jardines, edificios públicos, unidades deportivas y recreativas, monumentos y fuentes, entre otros.

- Desarrollo urbano

El crecimiento de la mancha urbana se encuentra hacia la parte Norte y Sur de la localidad, aunque cabe mencionar que de forma general dicha localidad ha tenido un crecimiento urbano de manera significativa y a su vez muy notoria, de la misma forma la mayoría de sus calles se encuentran bien definidas y pavimentadas.

- Vías de comunicación

El municipio de Nahuatzen se encuentra comunicado por carreteras pavimentadas con el municipio de Cherán y de ahí con las ciudades de Uruapan y Zamora, también a través de la carretera Uruapan - Guadalajara. Con el Municipio de Tingambato, a través de la carretera Cherán - Pátzcuaro.

El municipio de Nahuatzen, esta comunicado a la capital del estado, a través de la carretera federal Morelia – Pátzcuaro – Uruapan, en el tramo Pátzcuaro – Uruapan con desviación a Cherán. Se comunica a sus diversas tenencias a través de carreteras con carpeta asfáltica al 100%. Además de otras vías de comunicación como lo es, televisión, radio, teléfono, internet, correo, taxis y transporte público de carga y autobús foráneo.

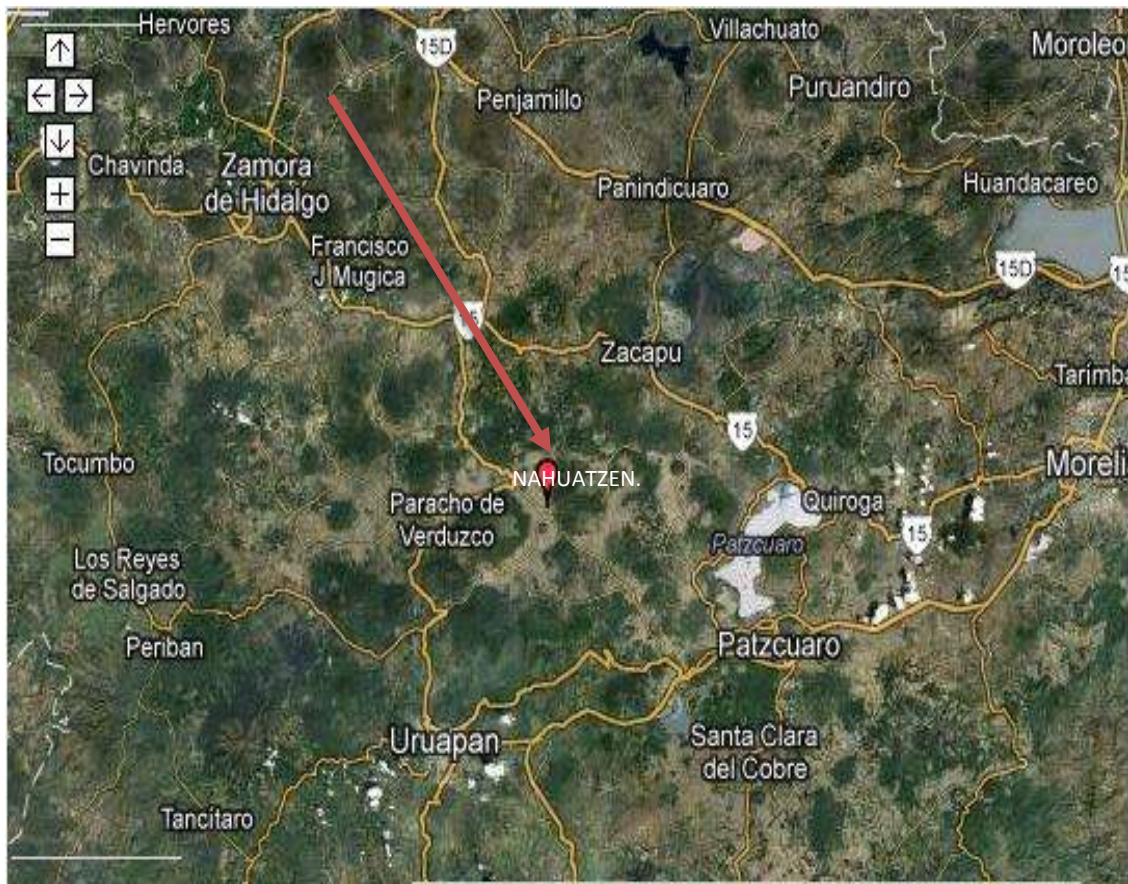


Figura N° 2: Vías de comunicación.

2.2 Conceptos de trabajo

2.2.1 Recopilación de datos básicos

Para el desarrollo del presente proyecto se procedió a la recopilación y análisis de la información disponible, de manera tal que será la base para la elaboración del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la localidad de Nahuatzen.

2.2.2 Recopilación de la información

La información que se presenta en este proyecto de tesis fue recabada básicamente en publicaciones de la base de datos del INEGI, CONAPO, cartas topográficas y de las visitas que se llevaron a cabo en la localidad.

2.2.3 Visitas de campo a la localidad proyectada

El objetivo fundamental de las visitas de campo a la localidad de Nahuatzen, fue primeramente para ubicar los sitios de descarga de agua residual generadas por las actividades ya mencionadas anteriormente, y en segundo término para definir el terreno en donde se llevara a cabo los trabajos de obra civil para la proyección de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Para cumplir tal objetivo se contó con la valiosa participación del personal encargado del ramo de obras públicas, con especial atención del ing. Antonio Villa Maldonado, director del departamento de obras públicas del municipio de Nahuatzen.

2.2.4 Desarrollo del proyecto

El presente proyecto se analizó en base a tres alternativas que puedan dar como resultado el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, las cuales constan de las siguientes:

- **Aeración Extendida y Desinfección**
- **Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).**
- **Lagunas de estabilización: (anaerobia, facultativa y de maduración).**

Posteriormente se llevó a cabo una visita al sitio propuesto para la proyección de la P.T.A.R., se vio como atractivo para el desarrollo del proyecto, el terreno seleccionado por el personal del H. Ayuntamiento de dicho municipio, mismo que se encuentra aguas abajo de la misma localidad. Cabe destacar un aspecto muy importante, ya que se mencionó que el actual dueño del predio no tenía problema en relación a la venta del terreno, por lo que se acordó que en ese sitio definitivamente, se proyectaría la PTAR.

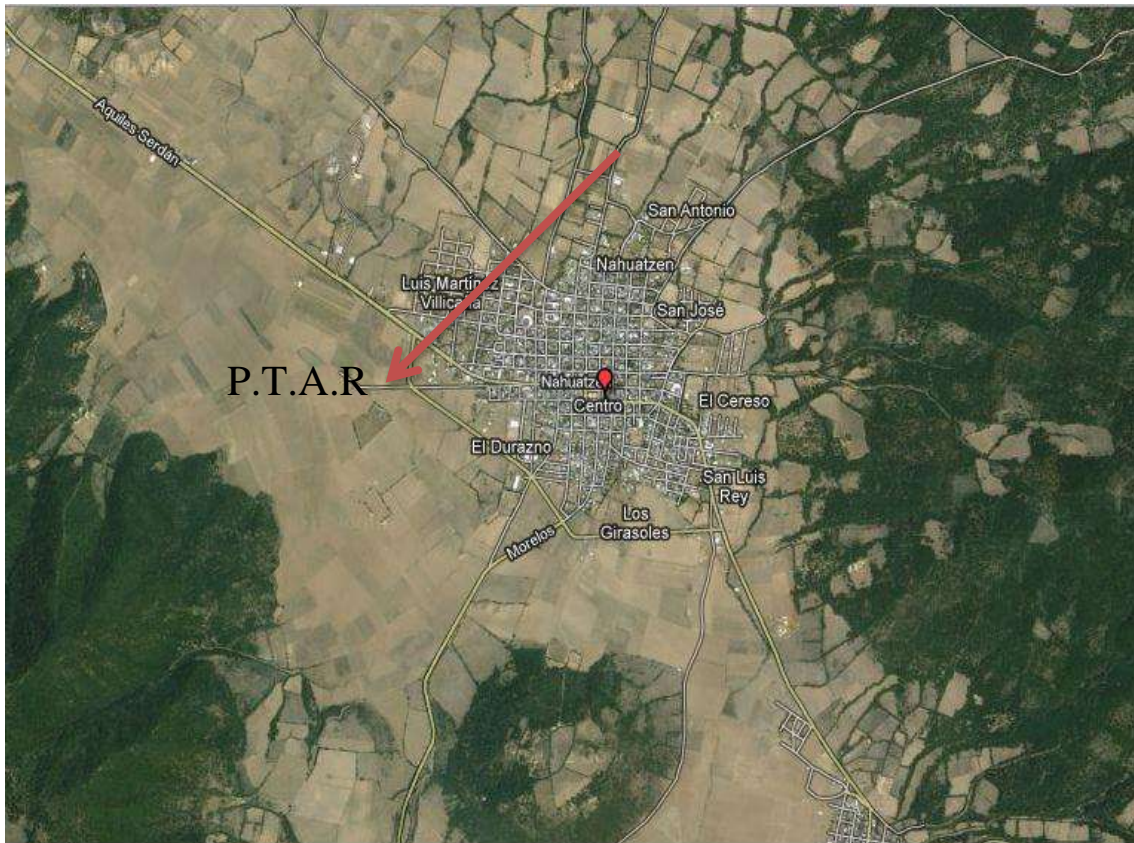


Figura N° 3: Macrolocalización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.



Figura N° 4: Microlocalización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

2.3 Aspectos socioeconómicos

Dentro de este aspecto, la actividad económica de los habitantes de la localidad de Nahuatzen es la agricultura y la ganadería, siendo estas dos las más importantes ya que representan entre estas dos el 50% de la actividad económica del municipio. Parte de la población se dedica al comercio y la elaboración de muebles típicos de la región y el resto acude a trabajar en industrias manufactureras dentro y fuera del municipio.

2.3.1 Demografía

Para la elaboración de este apartado, se recurrió a la base de datos del INEGI, a través de los diferentes censos y conteos rápidos que lleva a cabo esta institución gubernamental, dicha información se obtuvo a través de la página Web <http://www.inegi.gob.mx> así como estimaciones de la Comisión Nacional de Población CONAPO.

Con el fin de tener una idea más clara sobre el crecimiento demográfico de la población en cuestión, desde un punto de vista netamente estadístico, a continuación se citan algunos resúmenes de censos y conteos rápidos con las cifras más significativas en los últimos 20 años proporcionadas por el INEGI:

AÑO	POBLACIÓN	TASA DE CRECIMIENTO
1990	7025	1.94
1995	7704	1.86
2000	7954	1.25
2005	9385	3.36
2010	9865	1.00

Tabla Nº 3: Demografía de la localidad de Nahuatzen.

Algunos datos importantes a destacar dentro de este apartado son:

- Grado de marginación

LOCALIDA	GRADO DE MARGINACIÓN	Nº DE HABITANTES
Comachuén	Muy Alto	4557
Turicuaro	Muy Alto	3035
La Loma	Muy Alto	36
Sevina	Alto	2958
Arantepacua	Alto	2667
La Mohonera	Alto	1269
San Isidro	Alto	840
El Pino	Alto	243
Rancho El Padre	Alto	28
Col. Emiliano Zapata	Alto	67
NAHUATZEN	Medio	9385
	Total de Habitantes=	25085

Tabla Nº 4: Grado de marginación de la localidad de Nahuatzen.

- Vivienda

Dentro de este aspecto, prácticamente las viviendas rurales que existían en la localidad conocidas por el nombre de TROJES, han ido desapareciendo en un gran porcentaje, siendo estas sustituidas por construcciones de material a base de tabique y losa de concreto que en la actualidad un alto porcentaje (70%), ya son de este tipo, también se tienen viviendas construidas con muros de adobe y techos de madera cubiertos con tejas de barro, asbesto-cemento o cartón; en menor porcentaje se encuentran viviendas de tipo rústicas o jacales, estas últimas se localizan en mayor proporción sobre todo a las orillas de la localidad.

En gran mayoría el terreno de las viviendas de esta localidad son grandes teniendo un solar atrás de las mismas, en donde por lo regular van construyendo viviendas los hijos que ya contrajeron matrimonio, por lo regular las casas habitación, son construidas con dos ó tres cuartos, la cocina aparte, que también hace las veces de comedor, y el baño sigue siendo de construcción rural y en otro gran porcentaje cuentan con excusado.

La mayoría de los asentamientos se encuentran concentrados, lo cual da origen a la traza urbana de la localidad; aunque hacia las orillas se cuenta con algunas viviendas dispersas, mismas que carecen de la mayoría de los servicios urbanos, por encontrarse en predios un tanto rústicos.

En esta localidad al mismo tiempo que han aumentado las viviendas ha venido disminuyendo el índice de hacinamiento. En el año de 1980 existían 946 viviendas, ocupadas en promedio por 6 hab. /viv., para el año 2000 se reportaron 1,667 viviendas para 7,954 habitantes. Por tanto, se incrementaron 337 viviendas más que en 1990, situación que indica la necesidad de construir 40 viviendas por año para albergar a la nueva población de seguir esta tendencia.

El 97% de las viviendas no tienen drenaje, el 7% carecen de energía eléctrica y el total de las viviendas de los fraccionamientos irregulares no cuentan con red de agua potable.

De forma general se cita algunos datos demográficos en este aspecto:

- % de Viviendas sin drenaje ni excusado: 0.98.
- % de viviendas sin energía eléctrica: 3.50.
- % de viviendas sin agua entubada en el ámbito de la vivienda: 6.56.
- Total de viviendas habitadas: 1667
- Viviendas particulares ocupadas: 1636
- Ocupantes en viviendas particulares: 7830
- Promedio de ocupantes en viviendas particulares: 4.79
- Promedio de ocupantes por cuarto (recamara) en viviendas particulares: 1.88

Material de construcción

- Viviendas particulares habitadas con muros de material de desecho y lámina de cartón: 8
- Viviendas particulares habitadas con techos de material de desecho y lámina de cartón: 483
- Viviendas particulares habitadas con piso de material diferente de tierra: 921.

Servicios (particularmente agua entubada, Sanitario y Drenaje).

- Viviendas particulares habitadas que disponen de servicio sanitario exclusivo: 1589.
- Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada: 816
- Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada, drenaje ni energía eléctrica: 57.

2.3.2 Equipamiento

La localidad de Nahuatzen es una ciudad chica del estado de Michoacán con ciertas características rurales, el comercio y los servicios principales se ubican en la zona centro; en la localidad se encuentran, una gasolinera, talleres mecánicos, algunos restaurantes y otros servicios similares. Se cuenta con un mercado establecido a un costado de la plaza principal, y sobre ruedas, que se instala los fines de semana sobre la misma plaza, a donde acuden las personas tanto de la cabecera como del municipio a surtir su despensa. También se cuenta con un rastro el cual está al servicio de toda la localidad.

Cuenta con teléfono, telégrafo, servicio postal y de mensajería.

De Nahuatzen es posible comunicarse a todas sus localidades (tenencias), siguiendo la carretera a Pátzcuaro entronque Sevina-Comachuén por donde se llega a las localidades de Comachuén y Turícuaro, también es posible llegar a estas localidades tomando la carretera Nahuatzen-Uruapan.

Por otra parte siguiendo la carretera a Pátzcuaro y a cinco kilómetros de la localidad de Sevina se encuentra la desviación a la localidad de San Isidro.

No se cuenta con central de autobuses, ni central de servicios de carga.

2.3.3 Proyección de la población

A continuación se hace mención de uno de los factores importantes dentro de este proyecto de tesis, el cual nos permite conocer la población futura en la localidad en cuestión.

La proyección de la población es el número de habitantes que se estima tener al final del periodo de diseño de un sistema hidráulico u obra a proyectar (para este caso será al final del periodo de diseño de la P.T.A.R.).

Para tener una idea más clara de cómo ha ido variando la población de Nahuatzen, se hace mención de algunos datos estadísticos de censos y conteo rápidos realizados por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), el cual nos proporciona los siguientes valores:

EVENTO CENSAL	FUENTE	TOTAL HABITANTES	DE HOMBRES	MUJERES
1940	Censo	3046	1470	1576
1950	Censo	3605	1745	1860
1960	Censo	3976	1938	2038

1970	Censo	4531	No Dato	No Dato
1980	Censo	5770	2807	2963
1990	Censo	7025	3259	3766
1995	Conteo	7704	3663	4041
2000	Censo	7954	3732	4222
2005	Conteo	9385	4429	4956
2010	Censo	9865	4583	5282

Tabla N° 5: Datos estadísticos de la población de Nahuatzen.

De acuerdo a lo mostrado anteriormente, se procedió al cálculo de la proyección de la población del municipio de Nahuatzen, tomando en cuenta un horizonte de proyecto de 20 años. Se consideró la tasa de crecimiento proporcionada por el INEGI y esta se verificó con la norma técnica “NT – 011 – CNA – 2001” la cual nos habla sobre los Métodos de Proyección de Población. A continuación se muestran los resultados obtenidos de manera anual a partir del año 2012 hasta el año 2032.

AÑO	TOTAL DE HABITANTES
2013	10165
2014	10267
2015	10370
2016	10474
2017	10579
2018	10685
2019	10793
2020	10901
2021	11010
2022	11121
2023	11232
2024	11345
2025	11459
2026	11574
2027	11690
2028	11807
2029	11926
2030	12045
2031	12166
2032	12288
2033	12412

Tabla N° 6: Proyección de la Población.

2.3.4 Crecimiento urbano

Una vez conocido la información recopilada hasta este momento, la cual se hizo mención en párrafos anteriores, se procedió a analizar el crecimiento urbano de la localidad para lo cual se tuvo apoyo por parte del personal del departamento de Urbanística y Obras Públicas.

2.3.5 Nivel de vida

Como ya se hizo mención en párrafos anteriores las principales actividades de la localidad son la agricultura y ganadería. Sin embargo derivado del crecimiento generalizado de la localidad también se tiene actividades como la docencia, profesionistas, albañiles, mecánicos y herreros. A continuación se presenta algunos datos estadísticos referentes al nivel de vida de la localidad de Nahuatzen:

- La población que recibe menos de 1 salario mínimo mensual (smm) es del 7.6%, de 1 a 2 smm es del 11.2%, de 2 a 5 smm es del 7.2%, de 5 a 10 smm es del 0.7% y más de 10 smm es del 0.3%.
- El grado de alfabetismo y de instrucción es alto, ya que representan el 74% y el 74% respectivamente.
- Las casas en su mayoría son de piso de cemento, mosaico, madera con techos de concreto, aunque también existen con lámina de cartón y piso de tierra.
- El combustible para cocinar en las viviendas, en su mayoría es gas y algunas ocupan leña.
- La mayoría de las viviendas (93%) son ocupadas por sus propietarios.

De forma general se puede concluir que el nivel de bienestar o nivel de vida de los habitantes de la localidad de Nahuatzen es medio, cabe mencionar que es una localidad en continuo desarrollo, sin embargo aún los índices de marginalidad también son medios.

2.4 Principales contaminantes y tipos de industrias

Como pudimos darnos cuenta en base a la información recopilada anteriormente, la localidad de Nahuatzen no cuenta con industrias que tengan un gran impacto o que generen una alta contaminación del agua, sin embargo si cuentan con el rastro municipal, el cual descarga sus aguas residuales directamente al alcantarillado municipal. Para lo cual se propone implementar una planta de tratamiento antes de descargar sus aguas al alcantarillado municipal.

Podemos deducir que los principales contaminantes de la localidad son básicamente descargas de tipo domésticas y comerciales.

2.5 Descarga de aguas residuales municipales e industriales

Nahuatzen no cuenta con industrias relevantes, dentro del área comercial y de servicios se destaca lo siguiente: pequeños restaurantes y hoteles, clínicas del sector salud las cuales básicamente contaminan con desechos de tipo doméstico, con residuos de fármacos y con patógenos. Se tienen servicios de lavado y engrasado de vehículos y se cuenta con una gasolinera que es susceptible de contaminar con grasas y aceites y residuos de hidrocarburos.

En la actualidad se tienen dos descargas por medio de las cuales se evacua prácticamente el total de las aguas captadas en la red de alcantarillado, ambas descargas se vierten directamente al cuerpo receptor (arrollo natural).

La primera descarga de aguas residuales, se encuentra ubicada sobre la calle Emiliano Carranza, mientras que la segunda descarga se localiza sobre el libramiento en la salida hacia el municipio de Cherán. De las cuales se hará mención en párrafos posteriores.

2.6 Calidad de las aguas residuales

Como ya sabemos en la localidad de Nahuatzen el agua se utiliza básicamente en actividades domésticas y de servicios, por lo que es de esperar que las aguas residuales sean únicamente de descargas domiciliarias y comerciales, de manera que los contaminantes que contienen estas aguas las definan como típicamente domésticas de concentración entre media y débil.

En la actualidad el organismo operador encargado de los servicios de agua potable y alcantarillado no realiza actividades en las cuales se lleve a cabo mediciones de caudal de las aguas residuales que descargan directamente sobre los sistemas de alcantarillado municipal ni verifica el análisis de calidad de las mismas.

2.7 Aprovechamientos de las aguas residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen, cuyo objetivo es obtener efluente que cumpla con las normativas vigentes en cuanto a calidad se refiere, posteriormente el agua residual tratada se descargará al río para posteriormente utilizarla como fuente de abastecimiento de algunas localidades aumentando así la posibilidad de reúso para el uso de riego agrícola típicos de la zona de interés y algunas huertas frutícolas, por lo que el agua se utiliza como fuente de uso público urbano.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Clasificación de las aguas residuales

La clasificación de las aguas residuales se hace con respecto a su origen, ya que este origen es el que va a determinar su composición.

3.1.1 Aguas Residuales Urbanas

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- Aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga de contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos.

Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.

3.1.2 Aguas Residuales Industriales

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial.

También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Éstas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

3.2 Características y composición de las aguas residuales

Las aguas residuales domesticas se componen fundamentalmente, en su carga contaminante, de materia orgánica en forma soluble o coloidal y de sólidos en suspensión.

En este apartado hablaremos de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas. En la siguiente tabla se muestran datos típicos de parámetros individuales presentes en las aguas residuales de origen doméstico o municipal [2]. El agua residual municipal es clasificada como fuerte, media o débil, dependiendo de la concentración de los diferentes contaminantes. Es importante mencionar que la concentración varía con la hora del día, el día de la semana, el mes del año (la estación), tamaño de la población y otras condiciones locales. De aquí que la siguiente tabla mencionada tiene la intención de ser únicamente una guía y no una base de diseño.

COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS CRUDAS DE ORIGEN DOMESTICO				
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDICIÓN	CONCENTRACIÓN		
		ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos totales:	mg/l	1200	720	350
Disueltos totales	mg/l	850	500	250
Fijos	mg/l	525	300	145

Volátiles	mg/l	325	200	105
Suspendidos totales	mg/l	350	220	100
Fijos	mg/l	75	55	20
Volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos Sedimentables	ml/l	20	10	5
DBO (a 20 °C)	ml/l	400	220	110
COT	ml/l	290	160	80
DQO	ml/l	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	mg/l	85	40	20
Orgánico	mg/l	35	15	8
Amoniacal	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosfatos (como P):	mg/l	15	8	4
Orgánico	mg/l	5	3	1
Inorgánico	mg/l	10	5	3
Clorados b	mg/l	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	200	100	50
Grasas	mg/l	150	100	50

Fuente: Metcalf and Eddy

Tabla nº 7: Composición típica de las aguas crudas de origen domestico.

Al hablar de Aguas Residuales Municipales nos referimos a las aguas que son provenientes de las descargas de las actividades domésticas, comercios y de servicios que no contienen en volumen más del 15% de aguas residuales industriales.

Las aguas residuales son las aguas y sólidos usados en las diferentes actividades que llevan a cabo la sociedad humana, y que por uno u otro medio se introducen en los albañales y estos a su vez son transportados mediante el sistema de alcantarillado.

El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas, además de su significado así como de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

Sabemos que la aguas residuales se generan gracias a la inevitable actividad que realizamos la sociedad humana. El consumo de agua y la consecuente descarga de aguas residuales dependen esencialmente de las condiciones de vida de la población. La existencia de aguas residuales específicas depende tanto del tamaño así como de las características de la comunidad.

Toda agua residual afecta de alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor, sin embargo, se dice que un agua residual causa contaminación solamente cuando ella introduce condiciones o características que hacen el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma.

Las aguas de lluvias o aguas pluviales, transportan la carga contaminadora de techos, calles y demás superficies por donde circulan; sin embargo en ciudades modernas se recogen en alcantarillas separadas, sin conexiones conocidas de aguas residuales domesticas o industriales y en general se descargan directamente al curso de agua natural más próximo sin ningún tratamiento.

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo del propósito específico de la caracterización. Sin embargo, vale la pena mencionar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de aforo o muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados.

Cabe hacer mención, que en la práctica existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son muy importantes como referencia de los parámetros de importancia a analizar y de su magnitud, hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de contaminación deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica.

Sin embargo para nuestro caso en particular, la localidad de Nahuatzen presenta aguas residuales netamente de tipo domésticas, debido a que no existen industrias y/o empresas que generan un gran impacto generado mediante sus descargas de aguas residuales. Existe el rastro municipal, el cual contará con tratamiento previo antes de ser descargadas sus aguas residuales al sistema de alcantarillado municipal. De esta manera y por motivos de costos, se procedió a realizar el estudio de aforo bajo información recabada a través de literatura.

3.2.1 Características Físicas.

Dentro de las características físicas más importantes del agua residual, encontramos las siguientes: la temperatura, color, olor y el contenido total de sólidos.

En los siguientes párrafos haremos una breve definición de los parámetros que forman parte de las características físicas del agua residual.

Sólidos totales.- el contenido total de sólidos engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta, entendiéndose por sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C.

No se puede definir como materia sólida aquella que se pierda debido a la evaporación generado por su alta presión de vapor.

Los sólidos pueden ser orgánicos e inorgánicos, siendo los orgánicos de origen vegetal o animal, aunque también las hay de origen sintético. Los sólidos inorgánicos, lo constituyen las arenas, gravas, sales minerales de las aguas de abastecimiento, así como otras formas de materia inerte no degradable.

Los sólidos los encontramos en estado suspendido, disuelto y flotante, siendo perceptibles a simple vista y se pueden separar del agua residual por medio de procedimientos mecánicos o físicos. Si los sólidos son de peso y tamaño suficiente para sedimentar por gravedad en un periodo aproximado de una hora se dice que son sedimentables, los cuales varían de tres cuartas partes de orgánicos y una cuarta parte de inorgánicos del total.

Algunos de los efectos que debemos de conocer y tener en cuenta de los sólidos totales son:

- Limitan la fotosíntesis.
- Afecta a la penetración de la luz

- Producen azolves y matan los embriones de algunos peces, por medio de asfixia.

Temperatura.- este parámetro físico del agua residual suele ser mayor que la del agua del suministro, esto debido a implementación de agua caliente procedente de las casas y los diversos usos industriales, a cuyo proceso se le conoce como oxidación y descomposición de materia orgánica.

La temperatura es muy importante dada su influencia, tanto de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

Tan importante es este parámetro como lo son otros, sin embargo tenemos que tomar en cuenta que una evolución de temperatura brusca puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Para que se pueda llevar a cabo el desarrollo de la actividad bacteriana, la temperatura óptima oscila entre los 25 y 35 °C.

Además si tomamos en cuenta los efectos que trae consigo la temperatura, tales como los que a continuación se mencionan:

- Aumenta la toxicidad de algunas sustancias.
- Acelera la descomposición de la materia orgánica.
- Modifica el metabolismo de los organismos acuáticos.

Olor.- este parámetro generalmente se debe, a que durante el proceso de descomposición de la materia orgánica se liberan gases. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, sin embargo puede ser más tolerable al que libera el agua residual séptica. El olor más característico que libera el agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

Una problemática que trae consigo la presencia de olores en las aguas residuales, es que estos son las principales causas de rechazo para construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los efectos que acarrear los olores presentes en el agua residual pueden ser:

- Inducir al consumo menor de agua.
- Producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos.
- Reducir el apetito.
- Desanimar las inversiones de capital
- Otras.

Color.- el agua residual reciente suele tener un color grisáceo, sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir un color negro.

En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

3.2.2 Características Químicas.

Las características químicas presentes en el agua residual, se pueden encontrar en forma de **proteínas, carbohidratos, agentes tensoactivos, plaguicidas y productos químicos agrícolas**. Las proteínas en unión con la urea (principal constituyente de la orina) son las principales fuentes de nitrógeno en el agua residual.

Aproximadamente cerca de un 75 % de sólidos en suspensión y un 40 % de los sólidos filtrantes precedentes de un agua residual de concentración media de naturaleza orgánica. Dentro de los carbohidratos que podemos encontrar en el agua residual son: azúcares, almidones, celulosa, fibra de madera, mientras que los aceites representan una amplia gama de hidrocarburos de bajo peso molecular, de origen mineral como son: la gasolina, aceites, lubricantes y otros combustibles como contaminantes, tal es el caso de grasas y aceites de origen animal y vegetal.

Mientras que los **agentes tensoactivos**, que se encuentran presentes en el agua residual son: moléculas orgánicas las cuales origina espuma de las plantas de tratamiento, junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, los aceites y la urea, también el agua residual contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple hasta muy compleja.

Los **pesticidas y productos químicos** usados en la actividad agrícola, tales como pesticidas, herbicidas, entre otros, son tóxicos en la mayoría de las formas de vida, por ende pueden constituir peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Cabe hacer mención que aunque los plaguicidas y productos químicos agrícolas no son constituyentes comunes de las aguas residuales, sin embargo suelen incorporarse, como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas, y tierras abandonadas, presentan un grave peligro para la vida acuática.

La mayor parte de estos contaminantes se encuentran catalogados como contaminantes prioritarios.

A continuación se presenta una tabla con algunos parámetros químicos y sus efectos que puede ocasionar en los seres vivos:

PARÁMETROS	EFFECTOS
Nitrógeno Total	El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales para el desarrollo de plantas, algas y bacterias, sin embargo la forma inicial en que las bacterias liberan este parámetro, contenido en la materia orgánica, es en forma de amoníaco, elemento que resulta toxico para los peces.
pH	Este parámetro afecta el estado químico y la solubilidad de muchos compuestos y elementos, tales como los metales pesados.
DBO y DQO	Estos parámetros representan una medida de la cantidad de materia biodegradable por vía biológica o química, afectando en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua y por ende provocando la mortandad de peces y otros organismos, debido a la asfixia.

Metales y Metaloides	Pueden causar diversos problemas, ya que todos pueden ser tóxicos para los seres vivos. Son acumulables en los tejidos.
Fósforo Total	Sus efectos son similares a los del Nitrógeno. En concentraciones elevadas favorece el desarrollo de bacterias acuáticas, provocando la eutrofización del agua.
Mercurio	Este parámetro es útil en la fabricación de componentes eléctricos en la industria del papel y en la agricultura. Su ingestión altera el sistema nervioso. El mercurio es uno de los parámetros químicos más peligrosos para la salud humana.

Tabla nº 8: Contaminantes limitados por la nom-001-ecol-96, de los parámetros químicos y su importancia sanitaria.

Existen otros parámetros químicos que también pueden resultar con serias consecuencias, tanto para el desarrollo de bacterias acuáticas como para la vida de los seres vivos, tal es el caso del Plomo, Níquel, Zinc, Cadmio, Cobre, Cianuro, Cromo, Arsénico, etc.

3.2.3 Características Biológicas.

Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos; el agua residual contiene más de 106 microorganismos/ml, pero los números reales presentes regularmente no se determinan. Después del tratamiento convencional del agua el efluente todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas aguas superficiales naturales.

El agua debe estar exenta de gérmenes patógenos de origen entérico y parasitario intestinal, que son los que pueden transmitir enfermedades, entre los que podemos encontrar en el agua residual son: animales, plantas, bacterias tales como los coliformes fecales, y huevos de helminto.

Los seres humanos evacuamos organismos patógenos que pueden ser afectados por algún tipo de enfermedad, cuyos organismos causan en los seres humanos enfermedades del sistema gastrointestinal.

Los coliformes, suelen emplearse como indicadores de la contaminación generada por desechos humanos.

Uno de los problemas más importantes al que se enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de la calidad del agua son de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes orígenes de manera que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas. [Metcalf and Eddy].

Helminto, es el término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos, parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados (NOM-003-ECOL-1997).

PARAMETROS	EFECTOS
Bacterias: Coliformes Fecales.	Los coliformes fecales son indicadores de la posible presencia de bacterias patógenas. Cuando se indica que ha ocurrido contaminación fecal, es debido a la presencia de este parámetro en el agua residual.
Huevos de Helminto	Parámetro de incorporación reciente, para medir el potencial patógeno del agua. Los helmintos, son parásitos que afectan la salud de hombres y animales. Los parásitos más comunes en México son las tenias (<i>solium</i> y <i>saginata</i>) y los áscaris. El agua en general es un medio de dispersión.
Virus	Representan un importante peligro para la salud pública. Causan enfermedades del aparato intestinal, tales como la fiebre tifoidea, la disentería, diarreas y cólera.

Tabla nº 9: Contaminantes limitados por la nom-001-ecol-96, de los parámetros biológicos y su importancia sanitaria.

3.2.3.1 Tiempos de Supervivencia de bacterias

La supervivencia de las bacterias en el agua depende mucho de la presencia de otros microorganismos que tengan relación, depredación o competencia. Muchas veces las bacterias sobreviven más en aguas limpias que en aguas sucias. Al contrario hay cierta evidencia que la supervivencia de los virus es mejor en las aguas contaminadas, presumiblemente como resultado de un efecto protector que los virus encuentran cuando son absorbidos en las partículas sólidas suspendidas en agua sucia.

Las Supervivencias

- Bacterias: superiores a 50 días son raras y a 20-30 °C el tiempo máximo probable es de 20 días.
- Virus: aumenta con la disminución de la temperatura. A 20-30 °C sobreviven unos 2 meses y a 10 °C sobreviven unos 9 meses.
- Quistes de protozoo: sobreviven mal en cualquier ambiente; máximo para *Entamoebahistolytica* en aguas contaminadas es de unos 20 días.
- Huevos de helminto: estos varían desde muy frágiles a los muy resistentes. El más resistente de todos el *Ascaris* puede sobrevivir más de un año. (Salgot, M. 1994). El tiempo de supervivencia varía considerablemente con factores como: la temperatura y la humedad (Cruz O.).

3.3 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

En la siguiente tabla se describen los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual. Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas

incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos.

CONTAMINANTES		RAZÓN DE IMPORTANCIA
Sólidos en Suspensión		Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia Biodegradable	Orgánica	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de los casos, en función de la DBO y la DQO. Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos		Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes		Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios		Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia refractaria	orgánica	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados		Los metales pesados son frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos disueltos	inorgánicos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Metcalf and Eddy

Tabla nº 10: Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

3.4 Sistemas de tratamiento

Para poder definir los sistemas alternativos de tratamiento es imprescindible conocer dos conjuntos de información: la cantidad y la calidad de las aguas crudas a tratar y las normas de calidad con las que debe de cumplir el efluente de la planta de tratamiento. Conocidas estas dos condiciones es posible determinar los distintos conjuntos de

procesos que pueden ajustar las características del influente a las características deseadas.

Para evaluar las alternativas de tratamiento y poder escoger la más apropiada para cada caso en particular, es necesario considerar otra serie de condiciones; entre ellas, se pueden mencionar las siguientes:

- Requerimientos, disponibilidad y costos de terrenos.
- Requerimientos, disponibilidad y costos de mano de obra calificada para la operación de los sistemas de tratamiento.
- Requerimientos, disponibilidad y costos de reactivos químicos y piezas de repuesto para equipos electromecánicos requeridos por los sistemas de tratamiento y requerimientos de energía eléctrica.
- Proporcionalidad de costos de capital y costos de operación y mantenimiento para cada alternativa de tratamiento y conveniencia de limitar unos u otros en cada caso en particular.
- Importancia de asegurar la confiabilidad de operación del sistema y tolerancias a fallas ocasionales en los sistemas de tratamiento.
- Requerimientos de mayor consumo de agua y baja disponibilidad.

3.5 Tratamientos de las aguas residuales municipales

Los contaminantes del agua residual son eliminados por medios físicos, químicos y biológicos.

El tratamiento de las aguas residuales, previo a su disposición, consiste en separar de ellas la cantidad suficiente de sólidos que permita que los que queden al ser descargados a los diferentes tipos de cuerpos receptores no interfieran en el empleo de éstas, tomando en cuenta la capacidad de las aguas receptoras para asimilar la carga que se agregue. Cabe mencionar que los sólidos que se eliminan son principalmente orgánicos e inorgánicos.

La cantidad o grado de tratamiento que se le da a las aguas residuales varía dependiendo del uso que se le dé al cuerpo receptor, y este varía desde ser agua para beber o para fines culinarios.

La primera operación que se lleva a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales es la denominada operación de desbaste (pretratamiento), lo cual es un tratamiento convencional que se utiliza para la remoción de materiales gruesos, mediante el uso de rejillas, posteriormente se utilizan los desarenadores, cuya función es la remoción de arenas. La sedimentación, como tratamiento primario se realiza para la remoción de material sedimentable y el tratamiento biológico para la oxidación de la materia orgánica de las aguas residuales, para lo cual existen dos tipos: oxidación

aerobia y oxidación anaerobia. Finalmente podemos utilizar el proceso de desinfección como etapa final del tratamiento de aguas residuales domésticas.

En términos generales los propósitos que se deben considerar como de mayor importancia en un sistema de tratamiento de aguas residuales son los que a continuación se mencionan:

- Remoción de DBO.
- Remoción de sólidos suspendidos.
- Remoción de los parámetros (físicos, químicos y biológicos).
- Remoción de trazas de metales pesados.
- Remoción de sustancias inorgánicas disueltas.
- La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- Mantener en el agua las condiciones mínimas necesarias para fomentar la propagación y supervivencia de la fauna marina.
- Conservación de un agua con calidad aceptable para usos agrícolas e industriales.
- La prevención del azolve en aquellos cuerpos de agua que sirven como vías para la navegación.

3.5.1 Pretratamiento

El pretratamiento es la primera etapa dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, cuyo proceso implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga, ya sea en los cuerpos receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogenización.

El pretratamiento tiene como propósito fundamental la remoción en el agua residual de aquellos constituyentes que puedan causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores.

Los dispositivos para la primera etapa del proceso del tratamiento de las aguas residuales (pretratamiento), se utilizan básicamente para:

- Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos.
- Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, grasa e incluso objetos metálicos.
- Separar cantidades excesivas de grasas y aceites.

De manera que para llevar a cabo cada uno de los aspectos mencionados anteriormente, los cuales permitan la separación del material granular son los siguientes:

- Rejillas.
- Desmenzadores.
- Desarenadores.
- Preaeración.
- Desgrasadores.

Posteriormente se realizará un análisis de cada uno de ellos, permitiendo con ello un mejor concepto.

Rejillas.- son elementos o dispositivos que tienen aperturas generalmente de tamaño uniforme en forma de rejas, cuyo objetivo es la reducción y/o separación de sólidos gruesos y se ubican transversalmente al flujo. La distancia o las aperturas de la rejillas depende del objeto de las mismas, y su limpieza se hace ya sea de manera manual o bien mecánicamente. Los productos recogidos se destruyen bien por incineración, o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero.

Según el tamaño de las aperturas, los tamices son de malla ancha o fina. Los de malla ancha oscilan sus aperturas entre 0.5 cm o más, mientras que los de malla presentan aperturas inferiores a 0.5 cm.

Generalmente están fabricadas de malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado y se usan muchas veces en lugar de tanques de sedimentación. Sin embargo aunque pueden llegarse a eliminar por sedimentación.

Las rejillas o cribas de gruesos tiene aperturas que pueden oscilar entre los 4, 8 o 9 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos [Ramalho].

Las rejas son fabricadas con barras de acero soldadas a un marco que se coloca de manera transversal al canal. La ubicación de las rejillas gruesas es el canal de entrada y las rejillas finas después del desarenador. Las barras están colocadas verticalmente o con una pendiente de 30 a 80° respecto a la horizontal.

Cabe hacer mención que las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales pueden necesitarlas o no, según el tipo de dichas aguas. Las partículas suspendidas mayores de 0.5 cm pueden eliminarse mediante desbaste, mas económicamente que por medio de cualquier otro proceso unitario.

Tipo de Rejillas:

- Rejilla de banda.- consiste en una banda o cinta sinfín perforada, que pasa sobre dos cilindros uno superior y otro inferior.

- Rejilla de alas.- es aquella que cuenta con aberturas radiales, específicas en forma uniforme, que giran sobre un eje horizontal.
- Rejilla de tambor.- es un cilindro o cono de lámina perforada o de tela metálica, que gira sobre un eje horizontal.
- Rejilla de compuerta.- es una rejilla parecida a la anterior, pero con alas semicirculares.
- Rejilla de jaula.- consiste en una caja rectangular con las paredes laterales formadas por barras paralelas y sin pared en la parte de aguas arriba de la corriente. El fondo y el techo pueden ser de lámina de acero continua perforada.
- Rejilla de disco.- consta de un disco perforado, con o sin cono central truncado del mismo material, montado en el centro.
- Rejilla de tela metálica.- está formada con una alambrada de fábrica.
- Rejilla tipo parrilla.- consta de dos series de barras paralelas en el mismo plano, que se corta en ángulo recto.

A continuación se presenta la tabla 8, en la cual se muestran los criterios de diseño para el cálculo de la rejilla, elemento indispensable dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Velocidad de flujo entre barras	> 1 m/s
Pérdida de carga por la sección transversal	30%
Velocidad de aproximación del flujo (para evitar que se deposite arena)	0,60 m/s

Tabla nº 11: Criterios de diseño para el cálculo de la rejilla

A continuación se muestra una tabla, en la cual se mencionan las cantidades de material retenido en las rejillas.

Espaciamiento libre entre barras de la rejilla. (mm)	Cantidad de material atrapado en la rejilla (lt/per/año)	
	Con limpieza manual	Con limpieza mecánica
16	5.0	6.0
20	4.0	5.0
25	3.0	3.5
30	2.5	3.0
40	2.0	2.5
50	1.5	2.0

Tabla nº 12: Cantidades de material retenido en las rejillas.

Desmenzadores.- los molinos, cortadoras o trituradoras, son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permita que sean reintegrados a las aguas negras sin peligro de obstruir las bombas o las tuberías, o afectar los sistemas de tratamiento posteriores.

De acuerdo a la forma, capacidad, potencia y costo, encontramos en el mercado una gran variedad de trituradores que puedan ser útiles para dicho proceso, de manera que al elegir uno se deben definir las condiciones bajo las cuales estará trabajando, en base a ello elegir el más adecuado.

Referente al funcionamiento de estos trituradores existen de dos tipos, los cuales se mencionan a continuación:

1. Triturador de materiales retenidos por las rejillas.
2. Triturador de gruesos de aguas residuales.

En donde el primero, cuyo objetivo es pulverizar el material retenido en las rejillas o cribas, las cuales a través de su sistema de limpieza manual o mecánica, dependiendo del volumen de aguas que fluye a través de ellas, conduce a los residuos a través de una banda o canal hacia un triturador de este tipo. Después del triturador el producto final puede tener dos destinos principales: verterlo nuevamente a al corriente y retirar el material ya triturado con el resto de los sólidos sedimentables, durante el proceso de tratamiento primario y el materia producto de la trituración es conducido a prensas para reducir su contenido de humedad para posteriormente dejar secar el producto.

Mientras que el segundo método consiste en moler los sólidos in situ, es decir realizar una instalación que trabaje triturando dentro de la propia corriente de desagüe, con lo cual no es necesario efectuar el transporte de la materia retenida por la rejilla hacia un triturador.

Desarenador.- estos elementos son también llamados estanques, los cuales se utilizan para la sedimentación de partículas minerales cuyo tamaño varía entre 0.2 y 2.0 mm presentes en las aguas residuales. El objetivo fundamental de un desarenador es separar aquellos componentes que producen condiciones negativas en los procesos biológicos y que podrían representar una carga inútil en los estanques biológicos o de digestión.

La ubicación de estos desarenadores corresponde después del cribado y antes de la sedimentación primaria.

Los desarenadores se diseñan para ser limpiados manual o mecánicamente; cuando se limpian de forma manual se prevé generalmente espacio para almacenamiento de las arenas depositadas. Deben tenerse al menos dos unidades que se limpien en forma manual o una unidad de limpieza mecánica prevista de una derivación auxiliar.

El procedimiento utilizado para proceder a la separación de la arena del agua residual, consiste en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de la precipitación de los granos de dichas arenas, pero por encima de los de la sedimentación de la materia orgánica. Al no cumplirse esta última condición, se

producirán depósitos de materia susceptibles de fermentación, los cuales producirían malos olores y sería de manejo incómodo.

Un aspecto que tenemos que tomar en cuenta es que si no separamos esta materia pesada podría perjudicar el tratamiento posterior, generando sobrecargas en lodos, depósitos en las condiciones hidráulicas, tubería y canales, abrasión en rodetes de bombas y equipos, así como la disminución de la capacidad hidráulica.

Preaeración.- con este proceso de tratamiento de aguas residuales, se puede lograr lo siguiente:

- Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en los tanques de sedimentación.
- Disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- Ayudar a la eliminación de grasas y aceite que arrastren las aguas negras.
- Refrescar las aguas negras sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento.

Este proceso se logra introduciendo aire en las aguas negras durante un periodo de 20 a 30 minutos a la velocidad que se determine. Se lleva a cabo forzando el aire comprimido a través del agua, generalmente a 0.75 litros de aire por litro de agua negra.

Las funciones más importantes de la aeración son la eliminación de bióxido de carbono antes de la operación de ablandamiento del agua y la adición de oxígeno destinada a la separación de hierro y manganeso. La aeración provoca efectos adversos como que el agua sea más corrosiva, además de necesitar otros compuestos para la precipitación de hierro y manganeso en ausencia de materia orgánica.

Desgrasadores.- este proceso se utiliza para la separación de grasas, aceites y flotantes. El procedimiento es hacer pasar el agua por un tanque de salida sumergida de forma que los materiales flotan y son retirados de forma ya sea manual o bien automáticamente.

Una vez que el agua residual ha llegado a la planta de tratamiento, es necesario eliminar las grasas y aceites que aun estén presentes, para evitar daños a los equipos; así como interferencia en el desarrollo de los microorganismos empleados en el tratamiento biológico, ya que las grasas y aceites causan obstrucciones en las rejillas, aumentando los gastos en su conservación, además perturban el proceso de digestión de lodos, dificultan la sedimentación formando una capa superficial que atrae hacia la superficie pequeñas partículas coloidales de materia orgánica e incrementa la DQO en un 20 a 30%.

La aportación de grasas y aceites por habitante al día en aguas residuales urbanas se considera de 24 grs o bien el 28% de los sólidos en suspensión.

El diseño de separadores de grasas y aceites, se basa en la norma DIN4040, la cual establece los tiempos de retención mínimo requerido para la flotación de grasas, cuyos tiempos se presentan en la siguiente tabla:

Tiempo de retención (minutos)	Caudal (lts/seg)
3	2 a 9
4	10 a 19
5	mayor a 20

Tabla nº 13: Tiempos mínimos requeridos para la flotación de grasas.

Nota: para densidades mayores, el tiempo de retención deberá definirse con base en pruebas de laboratorio, considerando una eficiencia de remoción de 92%.

3.5.2 Tratamiento Primario

Este tratamiento se emplea como previo a un tratamiento biológico, entre sus funciones esta la de disminuir la carga en unidades de tratamiento biológico y además que elimina de un 25 a 40% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Una de las etapas del tratamiento primario de más utilidad en el tratamiento de aguas residuales es la sedimentación, cuyo objetivo es la separación y eliminación de las partículas suspendidas más pesadas que las aguas, a través de la acción de la gravedad y proteger así los elementos que la conforman.

Sedimentación.- el proceso de sedimentación, tiene como objetivo fundamental el obtener un efluente clarificado que cumpla con las normativas vigentes, pero además producir un fango con una concentración de sólidos tal que pueda ser manejado y tratado fácilmente. La sedimentación se realiza en tanques cuya función es la de separar los sólidos sedimentables de las aguas negras. Este proceso se utiliza para separar sólidos en suspensión. La eliminación de la materia por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

Cabe mencionar que en algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento.

En términos generales, cuando hablamos de sedimentador primario hablamos de tanques y estos pueden ser de forma rectangular, circular o cuadrados, todos bajo el mismo concepto, el de recolectar sólidos sedimentables por medio de las rastras con movimiento lento.

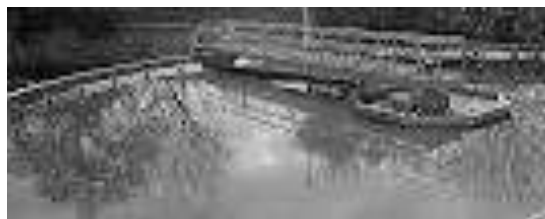


Figura Nº 5: Sedimentador primario.

Estos tanques requieren de los siguientes elementos para poder llevar a cabo su función en el proceso de tratamiento primario (sedimentación):

- Dispositivo de entrada.- deben diseñarse para dispersar la corriente de alimentación, para que se difunda homogéneamente el flujo por todo el tanque y

con ello evitar que se generen cortos circuitos, es decir, que el agua no salga sin clarificar.

- Deflectores.- este elemento por lo general se ubica a la entrada y salida del tanque, en donde el primero es para difundir el flujo y el deflector de salida es para detener el material flotante en el efluente.
- Vertedor de salida.- este elemento se utiliza para permitir que las aguas negras sedimentadas salgan de forma de película delgada (flujo laminar) por la superficie del tanque y generalmente son ajustables.
- Eficiencia.- en general, deben de eliminarse cerca del 90 al 95% de sólidos sedimentables, o sea de un 40 a un 60% de sólidos suspendidos totales y la DBO debe disminuir entre un 25 y un 35%.

Tipos de Sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión.

1. Sedimentación discreta.- las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso las propiedades físicas de las partículas, tales como el tamaño, forma, peso específico, no cambian durante el proceso. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación discreta.
2. Sedimentación con floculación.- la aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación. La sedimentación que se lleva a cabo en los clarificadores o sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso.
3. Sedimentación por zonas.- las partículas forman una especie de manta que se sedimenta con una masa total presentando una interface distinta con la fase líquida. Ejemplos de este proceso incluyen la sedimentación de lodos activados en los clarificadores secundarios y la de los flóculos de alúmina en los procesos de tratamiento de aguas.

Entre las principales funciones que se realiza a través del proceso de sedimentación, son los que a continuación se mencionan:

- Remoción de arenas.
- Remoción de sólidos suspendidos (sedimentables) en sedimentadores primarios.
- Remoción de humus en los sedimentadores secundarios de las plantas de filtros rociadores.

- Remoción de flóculos biológicos en los sedimentadores secundarios de las plantas de lodos activados.

En general el proceso de sedimentación, dentro del tratamiento primario es uno de los utilizados para el sistema de tratamiento de aguas residuales municipales, sin embargo también existen otros procesos, tal es el caso como: fosas sépticas y tanque Imhoff también llamados tanque de doble acción.

3.5.3 Tratamiento Secundario

Dentro de las etapas que forman el proceso de limpieza de las aguas residuales, el tratamiento secundario se usa principalmente para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), así como de limpiar el agua de aquellas impurezas cuyo tamaño es mucho menor a las que se pueden captar por la decantación y las rejillas, para ello los sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados.

Estos sistemas al manejar aspectos biológicos son afectados por factores externos, como son los climáticos, por lo que se tienen que estudiar las características y adaptación al sitio de proyecto, para poder hacer una elección adecuada.

Los sistemas secundarios son diversos y cada uno tiene sus variantes, sin embargo en este proyecto de tesis solo hablaremos de los más usuales, los cuales se hacen mención de cada uno de ellos en los siguientes párrafos:

- Lagunas de estabilización.
- Filtros rociadores.
- Zanjas de oxidación.
- Biodiscos.
- Sedimentación secundaria.

Lagunas de estabilización.- Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña fundamentalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) así como parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO₅).

El tratamiento secundario se lleva a cabo en la laguna facultativa, la cual se encarga de remover la mayoría de la fracción remanente de la DBO₅ soluble, por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas.

Finalmente en el tratamiento terciario el objetivo principal de la laguna de maduración es la remoción de microorganismos patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno).

Las lagunas facultativas son las que se utilizan en el tratamiento secundario, estas pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben aguas negras crudas, o como un tratamiento secundario para aguas negras sedimentadas, o también como

tratamiento adicional para efluentes de procesos secundarios. Se han usado más generalmente como tratamiento secundario de efluentes primarios.

Un aspecto muy importante a destacar de estas lagunas de estabilización, es que son de construcción barata y requieren un mínimo de operación.

Filtros rociadores.- son unidades de tratamiento secundario cuyo objetivo es estabilizar a la materia orgánica por medios biológicos, a través de microorganismos aerobios, los cuales se encuentran adheridos en el lecho filtrante.

Estos sistemas pueden variar en diseño pero trabajan de la misma manera. Los filtros rociadores son tanques circulares con diferentes profundidades dependiendo del porcentaje de agua a tratar, con un contenido de piedra o escoria granular de 21/2 a 4 pulgadas. A este tanque se le aplica un rocío continuo de las aguas negras por medio de aspersores que rotan en la superficie, el agua negra se filtra poco a poco por la gravilla dejando con el tiempo una película de materia orgánica que contiene bacterias oxidantes, a medida que el agua sigue fluyendo las bacterias trabajan estabilizando el agua, una vez que el líquido llega al fondo es recolectado por bloques de desagüe con las dimensiones necesarias para evitar el paso de la gravilla.

Esta filtración biológica va precedida de una sedimentación primaria y no requiere de una recirculación de lodos, sin embargo el exceso de los mismos es arrastrado en el efluente, ya que las partículas biológicas se desprenden continuamente, por lo que es aconsejable la instalación de un Sedimentador secundario para coleccionar este exceso de lodos.

Zanjas de oxidación.- las zanjas de oxidación inicialmente fueron construidas en Holanda y se utilizan para plantas grandes (hasta unos 500 lps) y son una variante de la aeración extendida. Una zanja de oxidación es una modificación del sistema biológico de tratamiento con lodos activados que utiliza un tiempo extenso de retención de sólidos.

El proceso de las zanjas de oxidación es una tecnología de eficiencia demostrada para el tratamiento secundario de aguas residuales que es aplicable a cualquier situación en donde sea apropiado el sistema de lodos activados (convencional o de aireación extendida). Las zanjas de oxidación pueden utilizarse en plantas que requieren nitrificación porque los tanques pueden ser dimensionados usando un tiempo de retención de sólidos apropiado para que se produzca nitrificación a la temperatura mínima del licor mezclado. Esta tecnología es muy efectiva en instalaciones pequeñas, comunidades pequeñas e instituciones aisladas porque requieren un área de terreno mayor que las plantas de tratamiento convencionales.

La principal ventaja de las zanjas de oxidación es su capacidad de lograr los objetivos de remoción de contaminantes con requerimientos operacionales reducidos y a bajos costos de operación y mantenimiento.

Biodiscos.- son discos de gran tamaño parcialmente sumergidos en una balsa con agua residual y con movimiento de giro lento que provoca el contacto del agua residual y del aire con su superficie. Sobre estos discos se degrada la materia orgánica.

Este sistema fue desarrollado por vez primera en Alemania, en el año de 1960 y poco después fueron introducidos a los Estados Unidos.

Este sistema es utilizado como tratamiento biológico en condiciones aerobias, cuya función es la de estabilizar la materia orgánica contenida en el agua residual, a través de microorganismos. Las bacterias van en la superficie del cilindro.

En el caso de los RBC, por sus siglas en inglés que traducido al español sería algo así como “contactores biológicos rotatorios”, la biomasa se presenta simultáneamente en forma de crecimiento asistido (como en el caso de los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en el caso de las unidades de lodos activados)

Entre las principales ventajas que se tiene con este sistema de biodiscos son las siguientes:

- Mantenimiento mínimo de los elementos mecánicos.
- Bajo consumo de energía.
- Solo se requiere personal para comprobar diariamente su funcionamiento y para la eliminación de los fangos digeridos una vez secos.
- Ya que es posible tener en cada etapa un cultivo biológico diferente se cuentan con un grado adicional de flexibilidad en el proceso. Puede conseguirse bastante nitrificación desarrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas.
- La biomasa presenta en general buenas características de sedimentación con lo que se disminuye el costo de la clarificación secundaria.

Tanques de sedimentación secundaria.- el paso final de etapa secundaria del tratamiento de aguas residuales es retirar los flóculos biológicos del material de filtro, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. Por lo general este proceso se realiza en plantas de tratamiento rural.

La sedimentación tanto primaria como secundaria, son similares en cuanto a su forma, funcionamiento y características de operación, sin embargo, la sedimentación secundaria se construye después de las unidades de tratamiento biológicos, formando parte del tratamiento secundario. Así los tanques de sedimentación secundaria captan los sólidos activados del tratamiento biológico de depuración bioquímica o biológica.

Cabe mencionar que los filtros rociadores, mencionados anteriormente solamente alteran las características de los sólidos de las aguas negras, pero no los eliminan, el efluente contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de que disponga de tal efluente, por esta razón se usan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final.

3.5.4 Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario o tratamiento avanzado, es una serie de procesos, cuyo objetivo es conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario, para

posteriormente adecuar el agua para su reúso o para ser nuevamente incorporada a un cuerpo receptor.

Existen diferentes procesos que se pueden llevar a cabo dentro del de tratamiento terciario, tales como los que a continuación se mencionan:

- Microtamizado.
- Filtración.
- Intercambio iónico.
- Osmosis inversa.
- Electrodialisis.
- Desinfección.
- Lagunaje.
- Precipitación y coagulación.
- Entre otros.

Sin embargo, para este proyecto en particular solo hablaremos de los posibles a utilizar en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen:

Lagunaje.- una laguna de estabilización es una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento, a través de la actividad bacteriana con acción simbiótica de las algas y otros organismos. El tratamiento de lagunas proporciona el establecimiento necesario y fomenta la mejora biológica de almacenaje en charcos lagunas artificiales.

Las lagunas de estabilización de aguas residuales son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno a bajo costo y cuando la calidad exigida al efluente no es muy estricta. Las lagunas de estabilización son un proceso natural de autopurificación constituye un tratamiento alternativo ya que permite un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia.

Los aspectos fundamentales que se llevan a cabo gracias a la utilización de lagunas de estabilización en el proceso de tratamiento de aguas residuales, es que establecen cadena trófica y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en la aguas residuales. De manera tal, que dicho proceso se considera y se puede proyectar como un método de tratamiento de la materia orgánica y de la remoción de los patógenos presentes en el agua residual.

Se efectúan cambios bioquímicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y en algunos casos nutrientes.

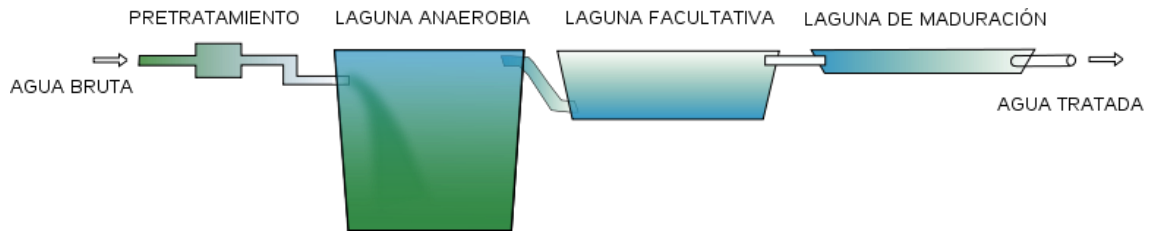


Figura N° 6: Diagrama y/o proceso de un sistema de lagunas de tratamiento de aguas residuales.

Desinfección.- este proceso consiste en un tratamiento especializado dirigido a la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades en especial las bacterias de origen intestinal. El agente más utilizado para llevar a cabo el proceso de desinfección de aguas residuales es el “cloro” y con ello proporcionar una calidad mayor a la proporcionada por los procesos de tratamiento anteriores (primario y secundario).

Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.

Entre los objetivos de la cloración en el proceso de desinfección están los que a continuación se mencionan:

- Reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).- este proceso se realiza a través de la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual.
- Eliminación o reducción de colores y olores.- las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos de tipo industrial (azúcar de caña, industrias de conservas, centrales lecheras, pasta y papel, textiles, etc)

Las dosis típicas de cloro requeridas para la desinfección de aguas residuales, se presentan en la tabla siguiente:

EFLUENTE DE	INTERVALO DE DOSIFICACIÓN (mg/l)
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6 a 25
Sedimentación primaria	5 a 20
planta de precipitación química	2 a 6
Filtro precolador	3 a 15
Lodo activado	2 a 8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activados	1 a 5

Tabla n° 14: Dosis típicas de cloro para desinfección.

3.6 Ubicación de las descargas

Las descargas de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen, las cuales fueron identificadas dos se encuentran ubicadas en los siguientes puntos:

1. Descarga N° 1.- ubicada sobre la calle Emiliano Carranza de esta localidad



2. Descarga N° 2.- esta se encuentra ubicada sobre el libramiento en la salida al municipio de Cherán



Como se mencionó anteriormente y en base a la información mencionada, el agua residual de la localidad de Nahuatzen es netamente de tipo domestica sin industrias de gran impacto o que generen alta contaminación, por tal motivo se realizó el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales con base a información recabada a través de literatura, la cual se hace mención en la bibliografía.

3.7 Proyecciones y cálculo de gastos

Para realizar el cálculo de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen, primeramente se procedió a hacer las siguientes consideraciones:

CONSIDERACIONES	VALORES	UNIDAD DE MEDICIÓN
Temperatura media anual	14	° C
Clima	Templado	
Consumo por clase socioeconómica:		
Residencial	250	lts/hab/día
Media	195	lts/hab/día
Popular	100	lts/hab/día
Composición de la localidad:		
Residencial	0	%
Media	60	%
Popular	40	%
Consumo promedio	150	lts/hab/día
Porcentaje esperado de fugas	15	%
Dotación	150	lts/hab/día
Porcentaje de aportación	75	%

Fuente: Comisión Nacional del Agua

Tabla nº 15: Consideraciones para el cálculo del gasto de diseño.

Con esta información, proporcionada por la Comisión Nacional de Agua (CNA), se procedió al cálculo de la aportación, mediante la siguiente ecuación:

Aportación= (dotación * porcentaje de aportación)

Aportación= (150 lts/hab/día * 75%)= **112.5 lts/hab/día.**

3.7.1 Gastos de diseño

Ahora bien conocida la aportación y la población de proyecto, esta última resultando de 12,288 habitantes para el año 2032 bajo un horizonte de proyecto de 20 años, se realizó el cálculo del gasto medio o de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Caudal medio= [(población de proyecto * aportación)/86,400].

86,400= es el número de segundos que tiene un día.

Gasto de diseño= [(12,412 hab * 112.5 lts/hab/día)/86,400]= **16.16 lts/seg.**

En la tabla que a continuación se muestra, se realizó el cálculo de los gastos de diseño tomando en cuenta periodos de año por año del 2013 al 2032 y los datos calculados anteriormente:

- Dotación: 150 lts/hab/día
- Porcentaje de aportación: 75%
- Aportación: 112.5 lts/hab/día
- Coeficiente de seguridad o variación: 1.5

Coeficiente de harmón.- este coeficiente es útil para prever la aportación de aguas pluviales y el aumento de la población que no haya sido previsto en la población de proyecto, el cual se calcula como se indica en la ecuación siguiente:

$$M = 1 + [(14 \div (4 + \sqrt{(población) \div 1000})]$$

AÑO	POBLACIÓN (habitantes)	Q medio (lts/seg)	Q mínimo (lts/seg)	Coeficiente de Harmon	Q max. inst. (lts/seg)	Q max. ext. (lts/seg)
2013	10,165	13.23	6.61	2.95	39.03	58.87
2014	10,267	13.36	6.68	2.94	39.28	59.32
2015	10,370	13.50	6.75	2.94	39.69	59.46
2016	10,474	13.63	6.81	2.93	39.94	60.38
2017	10,579	13.77	6.88	2.93	40.35	61.00
2018	10,685	13.91	6.95	2.93	40.73	61.59
2019	10,793	14.05	7.02	2.92	41.03	62.10
2020	10,901	14.19	7.09	2.92	41.43	62.71
2021	11,010	14.33	7.16	2.91	41.70	63.19
2022	11,121	14.48	7.24	2.91	42.14	63.86
2023	11,232	14.63	7.31	2.90	42.40	64.34
2024	11,345	14.77	7.38	2.90	42.83	64.98
2025	11,459	14.92	7.46	2.90	43.27	65.65
2026	11,574	15.07	7.53	2.89	43.55	66.15
2027	11,690	15.22	7.61	2.89	43.98	66.81
2028	11,807	15.37	7.68	2.88	44.27	67.32
2029	11,926	15.52	7.76	2.88	44.70	67.98
2030	12,045	15.68	7.84	2.87	45.00	68.52
2031	12,166	15.84	7.92	2.87	45.46	69.22
2032	12,288	16.00	8.00	2.87	45.92	69.92
2033	12,412	16.16	8.08	2.86	46.22	70.46

Tabla N° 16: Cálculo del gasto de diseño.

Como podemos observar en la tabla calculada anteriormente, la población que se tendrá en la localidad de Nahuatzen para el año 2032 será de 12,288 habitantes.

En términos generales y conclusión a lo anterior podemos comentar lo siguiente: para el año 2013 se estima un gasto medio de 13.23 lts/seg mientras que para el año 2032 se espera un gasto medio de 16.00 lts/seg aproximadamente, lo cual significa un incremento de 2.77 lts/seg en un periodo de 20 años (horizonte de proyecto).

Si consideramos el diseño de una planta simétrica en relación a las unidades de tratamiento, compuesta por dos trenes de tratamiento iguales, estaríamos en condiciones de tratar un gasto de 18 lts/seg en una primera etapa, ya que este gasto se espera posterior al año 2032 que es el de proyecto, debido a que en ese año se llegaría a un gasto de 16.0 lts/seg. Entonces podemos observar en base a los cálculos que se puede operar con un solo modulo dentro del horizonte de proyecto y así considerar construir el segundo en lo futuro.

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Las alternativas de tratamiento que darán solución al sistema de agua residual de la localidad de Nahuatzen estará fundamentado en cuanto a la calidad del agua que se requiere en el efluente en base a la norma oficial mexicana “NOM-001-ECOL-1996”, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

En base a lo anterior se elabora la siguiente tabla de parámetros establecidos por la “NOM-001-ECOL-1996” para descarga de aguas residuales, para este caso en particular el medio receptor será un depósito natural de agua como lo es el rio para posteriormente aguas abajo de la localidad utilizarla para riego agrícola, de tal manera que el cuerpo receptor es de tipo B, por lo que los límites máximos permisibles para los parámetros que se deben cumplir son los que a continuación se presentan:

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES BASICOS.			
PARAMETROS	UNIDAD DE MEDICIÓN	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO
Temperatura	° C	40	40
Grasas y Aceites	mg/l	15	25
Materia Flotante		ausente	ausente
Sólidos Sedimentables	ml/l	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/l	75	150
Nitrógeno Total	mg/l	40	60
Fósforo Total	mg/l	20	30
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000	2000
Huevos de Helminto	huevo/l	1	1
pH		5 a 10 unidades	

Tabla nº 17: Límites máximos permisibles de contaminantes básicos.

De acuerdo a información que proporciona la Comisión Nacional de Agua en donde se menciona tres tipos de concentración para diferentes tipos de agua residual, las cuales son: Fuerte, Media y Débil. Para nuestro caso en particular para la localidad de Nahuatzen se tomara en cuenta una concentración de tipo Media, en base a ello los parámetros que marca la norma de referencia son los siguientes:

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDICIÓN	PROMEDIO MENSUAL
Grasas y Aceites	mg/l	100
Sólidos Sedimentables	ml/l	10
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	220
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/l	220
Nitrógeno Total	mg/l	40
Fósforo Total	mg/l	8

Tabla nº 18: Parámetros de acuerdo a la CNA.

Con la información recopilada hasta el momento de acuerdo a la información de la Comisión Nacional de Agua y con apoyo de la Norma Oficial Mexicana mencionada anteriormente, se procedió a analizar las alternativas de tratamiento que darán solución al dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la localidad de Nahuatzen, para lo cual se propusieron tres alternativas que a continuación se mencionan:

1. Aireación Extendida y Desinfección.
2. Reactor Anaerobio, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección.
3. Sistema de Lagunas: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.

A continuación se hará un análisis de forma detallada de cada una de las alternativas de tratamiento, cabe mencionar que las alternativas propuestas cumplen con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana “NOM-001-ECOL-1996”, en cuanto a descarga a ríos y haciendo hincapié que el agua ya tratada será para uso de riego agrícola.

4.1 Aireación Extendida y Desinfección

Las características del agua residual presentes en este sistema de tratamiento son las siguientes:

- Aguas Residuales Municipales
- Sólidos en Suspensión
- Grasas y Aceites
- Material Oxidable
- Nitrógeno
- Fosforo
- Microorganismos
- Patógenos y parásitos

El tren de tratamiento que se lleva a cabo en este sistema es el que a continuación se presenta:

Cribado – Igualación – Flotación asistida por coagulación – Floculación – Aireación Extendida – Desinfección.

- Cribado

Es la primera operación que se debe considerar en una planta de tratamiento de aguas residuales, el cual es un proceso de tratamiento de tipo físico cuyo principal objetivo es capturar la materia gruesa para evitar que esta dañe o haga más lentos a los procesos depurativos.

La retención de cuerpos presentes en el agua residual se realiza a través de dos tipos de rejillas metálicas con tamices que van de 4 a 6 cm para el cribado grueso y de 0.2 a 0.5 cm para el cribado fino.

La operación de cribas estáticas no requiere de control, sin embargo, los residuos recolectados se remueven de forma manual utilizando cepillos y pueden ser limpiadas con agua a alta presión o agentes de limpieza. Cabe mencionar que se requiere energía para el movimiento de las rejillas y la cantidad de consumo dependerá del diseño de las mismas.

- Igualación

Este proceso consiste en amortiguar las variaciones del caudal para lograr que el flujo sea constante, este proceso tiene como objetivos superar los problemas operacionales causados por las variaciones de caudal, proveer un control adecuado de pH para minimizar los requerimientos posteriores de dosificación en procesos de neutralización y permitir la descarga de efluentes muy variables al alcantarillado municipal.

Los tanques de igualamiento no generan residuos. Utiliza un sistema de aireación para la oxidación de compuestos reducidos y la mitigación de olores.

- Flotación asistida por coagulación – floculación

Este proceso se utiliza para separar las partículas sólidas presentes en una fase líquida, mediante burbujas diminutivas de un gas, generalmente aire.

Este proceso se lleva a cabo en un tanque cerrado en donde una parte del efluente se presuriza y se sobre satura con aire, de manera tal que al liberarse la presión el aire escapa de la mezcla formada en forma de burbujas, adhiriéndose las partículas sólidas que se desean separar y llevándolas a la superficie para su posterior operación.

- Lodos Activados Aireación Extendida

El proceso de aireación extendida es similar al proceso de lodos activados convencional excepto que el tiempo de retención hidráulico (tiempo que permanece el agua residual en el reactor biológico para su tratamiento) requerido es mucho mayor.

Este periodo de aireación permite que la carga orgánica de las aguas residuales se remueva de manera más eficiente lo cual generará una menor cantidad de lodos comparada con los sistemas de lodos activados convencionales.

Algo muy importante es este proceso de tratamiento es que se remueve principalmente la materia orgánica disuelta en el agua cruda de entrada disminuyendo así considerablemente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Cabe señalar que este tipo de proceso se aplica para el tratamiento de aguas residuales con cargas orgánicas bajas, las cuales corresponden a pequeñas comunidades.

De forma general se plantea un proceso de lodos activados con un tiempo de retención de 10 horas, el agua llega a esta estructura después de ser sometida a un pre tratamiento mediante rejillas, cribado y bombearse. En este tanque se mantiene en suspensión el cultivo de microorganismos que se tienen en los lodos activados y además se proporciona el oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica en forma aeróbica.

Posteriormente el agua pasa a un tanque circular de sedimentación, para separar los lodos activados del agua clarificada, estos se precipitan al fondo del tanque donde son concentrados hacia el centro con un equipo de rastras que gira y el agua sobrenadante se capta en la parte alta mediante una canaleta perimetral.

Una vez realizado lo anterior el agua se lleva a un tanque de contacto de cloro donde se desinfecta mediante la adición de este elemento antes de descargarlo para su uso que para nuestro caso posiblemente agrícola.

Los lodos que se van formando y que son cada vez un mayor volumen, se desechan del sistema de aireación – sedimentación hacia un espesador para concentrarlos y retirarles en lo posible el agua excedente.

Después se hace una complementación de la digestión en forma aeróbica para que los lodos ocasionen menos problemas en su disposición, antes de lo cual se deshidratan en lechos de secado al sol y mediante drenaje de fondo.

A continuación se muestra el diagrama de proceso de la alternativa planteada:

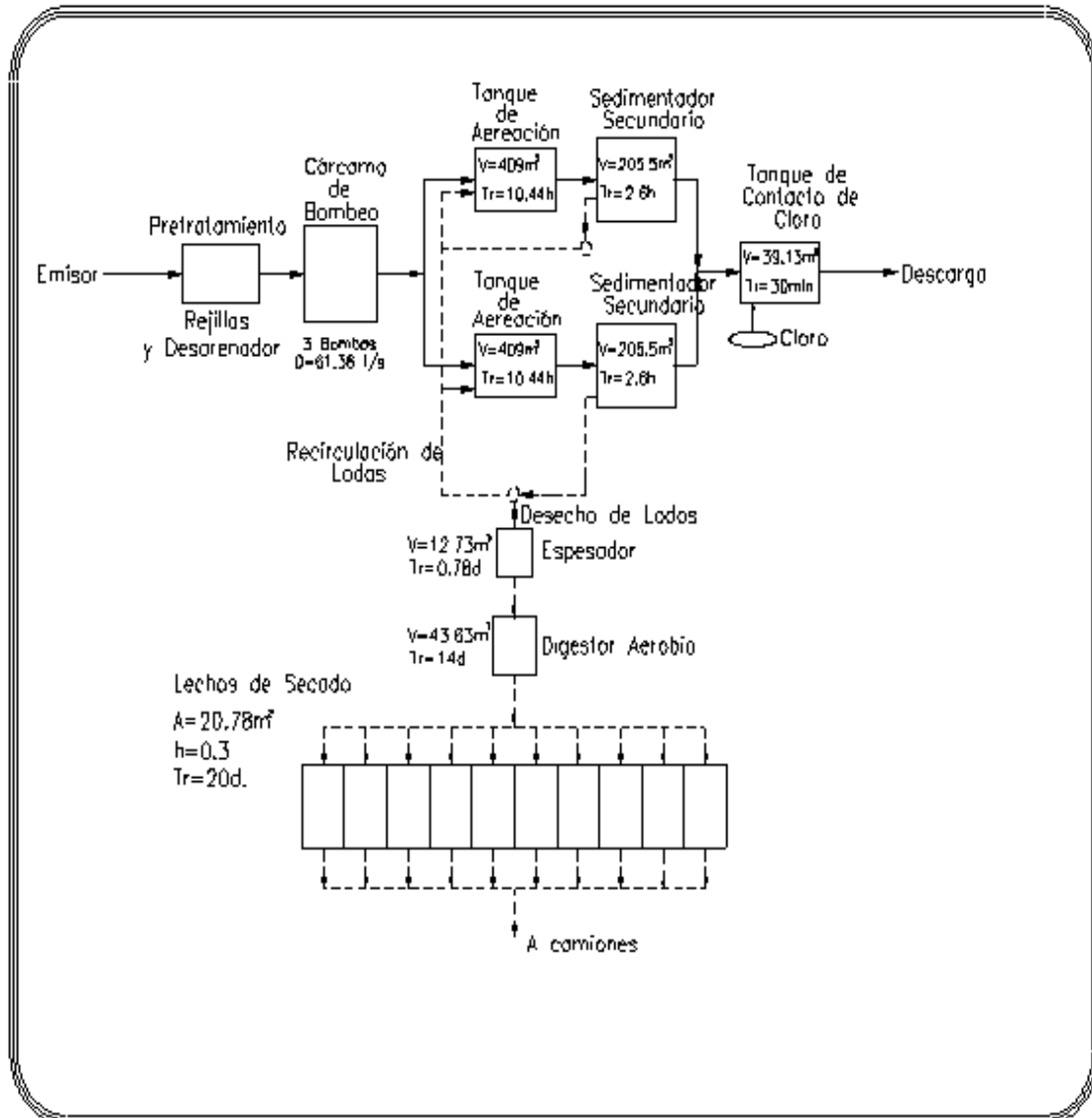


Figura nº 7: Diagrama del proceso de tratamiento de la alternativa nº 1.

4.2 Sistema RAFA, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección

Esta alternativa se plantea tratando de ocupar poca área, si tomamos en cuenta que el terreno es duro, debemos evitar que los movimientos de terreno sean grandes.

Un sistema RAFA no es apropiado para comunidades pequeñas o rurales sin fuentes constantes de agua o electricidad. Se requiere de un operador capacitado para monitorear y reparar el reactor y la bomba en caso de problemas. Aunque la tecnología es de diseño y construcción simples, cabe mencionar que aún no está suficientemente probada para las aguas residuales domésticas, aunque las investigaciones recientes son alentadoras y prometedoras.

Este sistema tiene el potencial de producir efluente de mayor calidad que las fosas sépticas y puede hacerlo con un reactor de menor volumen. Aunque es un proceso bien

establecido para procesos de tratamiento de aguas residuales industriales a gran escala, su aplicación al drenaje domestico aún es nueva.

Como el proceso puede eliminar del 85 al 90% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se usa habitualmente para la fabricación de la cerveza, destilación, elaboración de alimentos, desechos de pulpa y de papel. El reactor puede no funcionar bien donde el afluente tenga poca fuerza. Un aspecto importante en este proceso es la temperatura, ya que este parámetro puede afectar al rendimiento.

En este proceso el mantenimiento es poco frecuente, ya que la eliminación de los lodos excesivos a través del desazolve se realiza cada 2 o 3 años.

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), consiste en un proceso de lodos en suspensión y flujo ascendente, tiene la ventaja que está calculado para que el manto de lodos fluctúe de la parte inferior a la parte superior del Reactor y cuya velocidad ascensional sea tal que no permita la salida de lodos, acumulándolos en la parte intermedia del reactor e incrementando la biomasa.

En este tipo de sistemas, se disocian el tiempo de retención hidráulica del tiempo de retención celular y permita una remoción importante de materia orgánica, ya que dicha remoción está en función de la cantidad de microorganismos dentro del reactor, debido a que al contar con una gran cantidad de ellos el proceso se vuelve eficiente en la remoción de la materia orgánica.

Un aspecto importante a destacar en este sistema RAFA es que se produce gas metano y la producción del mismo permite al sistema un mezclado completo y una gran superficie de contacto entre el substrato y los microorganismos, además de que se mejora el grado de tratamiento de las aguas residuales para las etapas posteriores.

El proceso da inicio a partir del ingreso del influente al reactor, de la caja distribuidora provista de tuberías se distribuye el caudal en dos líneas a lo largo del tanque para descargar su caudal en su fondo con bajas velocidades y posibilitar un flujo ascendente que propicie una sedimentación de sólidos muy alta.

Los lodos del sedimentador secundario se dejan escurrir por gravedad al cárcamo de bombeo de influente para de aquí bombearlos al Reactor Anaerobio, ya que en ese elemento se tiene una zona para digestión anaerobia de lodos. Los lodos ya digeridos se descargan hacia un espesador para posteriormente enviarlos a los lechos de secado.

De forma general esta alternativa propone llevar a cabo un proceso de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema RAFA, seguido de filtro rociador, el cuenta con los menores costos de operación, posteriormente se llevara a un Sedimentador secundario el cual tiene el objetivo fundamental la separación de lodos del líquido – mezcla. Esta separación de sólidos es el último paso, antes de la descarga requerida para la producción de un efluente estable bien clarificado y con bajo contenido en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos totales. Para finalmente llevar a cabo la etapa de desinfección cuyo proceso se realizará mediante la aplicación de una dosificación de cloro.

A continuación se presente el diagrama de proceso de la alternativa planteada:

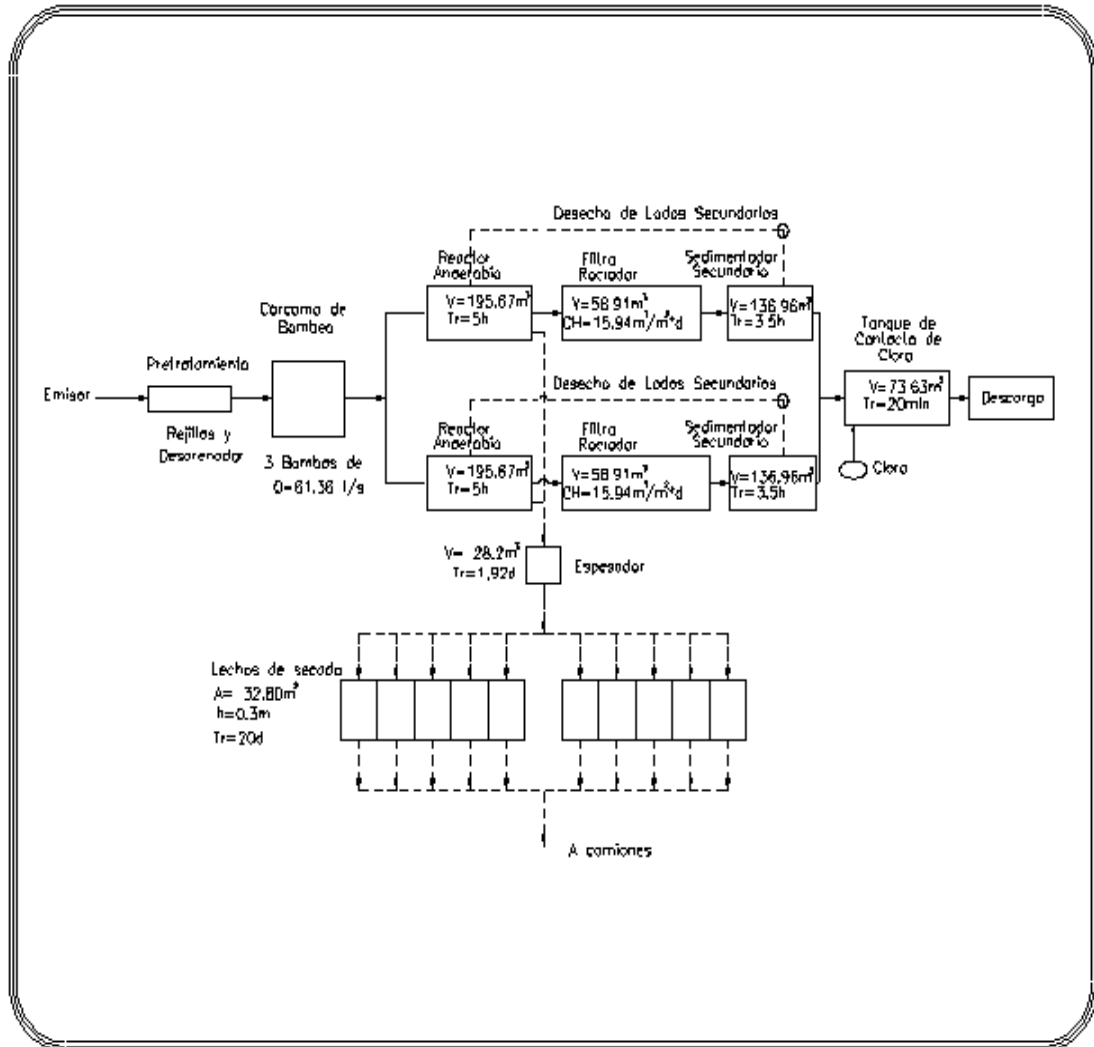


Figura nº 8: Diagrama del proceso de tratamiento de la alternativa nº 2

4.3 Sistema de Lagunas de Estabilización: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.

Esta última alternativa planteada al sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen es una serie de lagunas, las cuales son: anaerobia, facultativa y finalmente de maduración, cabe destacar que para llevar a cabo esta alternativa se requiere de un área grande de aproximadamente 5 ha.

Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña fundamentalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) así como parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO5).

El tratamiento secundario se lleva a cabo en la laguna facultativa, la cual se encarga de remover la mayoría de la fracción remanente de la DBO5 soluble, por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas.

Finalmente en el tratamiento terciario el objetivo principal de la laguna de maduración es la remoción de microorganismos patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno).

Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo – efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural.

A continuación se hace un breve análisis de cada una de las lagunas de estabilización que pretenden dar solución al sistema de tratamiento de la localidad de Nahuatzen:

- Lagunas anaerobias

Estas son las unidades más pequeñas de la serie. Por lo general tienen una profundidad de 2 a 5 m y reciben cargas orgánicas volumétricas del orden de 100 g de DBO₅/m³ d. Estas altas cargas orgánicas producen condiciones anaerobias estrictas (oxígeno disuelto ausente) en todo el volumen de la laguna. De forma general, las lagunas anaerobias funcionan como tanques sépticos abiertos y trabajan muy bien en climas calientes.

Una laguna anaerobia bien diseñada puede alcanzar remociones de DBO₅ del orden del 60% a temperaturas de 20 °C.

Un aspecto importante en este sistema es que uno de los principales problemas que acarrea una laguna de estabilización son las molestias generadas por los olores, sin embargo los problemas de olor pueden minimizarse con un diseño adecuado de las unidades, siempre y cuando la concentración de SO₄²⁻ en el agua residual sea menor a 500 mg/l. La remoción de materia orgánica en laguna anaerobia es gobernada por los mismos mecanismos que ocurre en cualquier reactor anaerobio.

- Lagunas facultativas

Estas lagunas pueden ser de dos tipos: lagunas facultativas primarias que reciben aguas residuales crudas y lagunas facultativas secundarias, las cuales reciben aguas sedimentadas de la etapa primaria (usualmente el efluente de una laguna anaerobia).

Las lagunas facultativas son diseñadas para la remoción de DBO₅ con base en una baja carga orgánica superficial que permita el desarrollo de una población algal activa. De esta manera las algas generan el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la DBO₅ soluble. Una población saludable de algas le confiere un color verde oscuro a la columna de agua. Estas lagunas pueden tornarse ocasionalmente rojas o rosadas debido a la presencia de bacterias fotosintéticas púrpuras oxidantes del sulfuro.

La concentración de algas en este tipo de lagunas con funcionamiento óptimo depende de la carga orgánica y de la temperatura, pero frecuentemente se encuentra entre 500 a 2000 µg clorofila-a/l. La actividad fotosintética de las algas ocasiona una variación diurna de la concentración de oxígeno disuelto y los valores de pH. Variables como la velocidad del viento tienen efectos importantes en el comportamiento de la laguna facultativa, ya que se genera mezcla del contenido de la laguna, un buen grado de mezcla produce una distribución uniforme de DBO₅, oxígeno disuelto, bacterias y algas, y en consecuencia una mejor estabilización del agua residual.

- Lagunas de Maduración

Estas lagunas reciben el efluente de las lagunas facultativas y su tamaño y número depende de la cantidad bacteriológica requerida en el efluente final. Estas lagunas son poco profundas alrededor de 1 a 1.5 m y presentan menor estratificación vertical, al tiempo que exhiben una buena oxigenación a través del día en todo su volumen. La población de algas es mucho más diversa en las lagunas de maduración comparada con las lagunas facultativas.

Por lo tanto, la diversidad algal incrementa de laguna en laguna a lo largo de la serie. Los principales mecanismos de remoción de patógenos y de coliformes fecales en particular son gobernados por la actividad algal en sinergia con la foto-oxidación.

Por otro lado, las lagunas de maduración sólo alcanzan una pequeña remoción de DBO₅, pero su contribución a la remoción de nitrógeno y fósforo es más significativa. Mara et al [1] reportan una remoción de nitrógeno total del 80% en todo el sistema de lagunas (laguna anaerobia+ laguna facultativa+ lagunas de maduración), y de esta cifra el 95% corresponde a la remoción de amonio.

Es de resaltar que la mayoría del nitrógeno amoniacal se remueve en las lagunas de maduración. Entre tanto, la remoción total de fósforo en los sistemas de lagunas es baja, usualmente mes de 50%.

En términos generales el sistema de lagunas en serie: anaerobia, facultativa y de maduración que pretende dar solución al sistema de tratamiento propone para la remoción de coliformes fecales dejar reposar el efluente dentro de las lagunas un tiempo de 1.16 días en la anaerobia, 15.97 días en la laguna facultativa y finalmente 2.13 días en la laguna de maduración, haciendo un total de 19.26 días en reposo del agua residual.

Como ya se mencionó anteriormente una desventaja que se tiene al operar con lagunas anaerobias es que al principio de su operación puede ocasionar malos olores en épocas de calor, pero ya cuando se estabilizan estos se pueden controlar.

A continuación se presenta el diagrama de proceso al tener sistema de lagunas de estabilización.

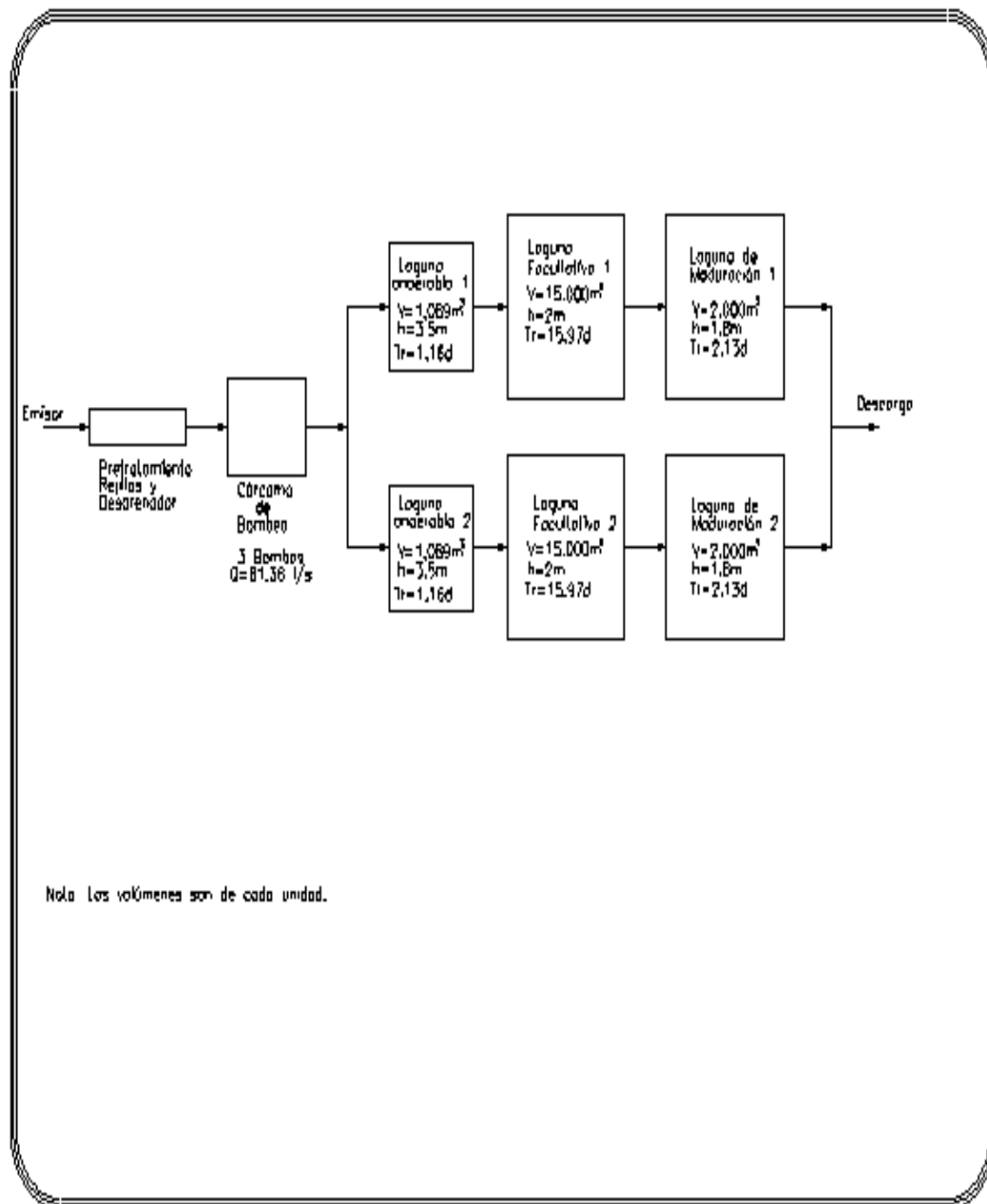


Figura nº 9: Diagrama del proceso de tratamiento de la alternativa nº 3.

4.4 Evaluación de las alternativas de solución.

Con la evaluación de las alternativas propuestas se busca conocer el funcionamiento de los sistemas de tratamiento que nos permita proponer una solución que mejore la calidad del efluente, cumpliendo con las normativas vigentes para el reúso del agua residual tratada en actividades agrícolas y de uso público.

De esta forma a través del organismo operador se procedió a la ubicación de las alternativas dentro del terreno disponible, el cual fue definido por el organismo ya

mencionado, para cada una de ellas se ubicó en la mejor posición de acuerdo a la extensión requerida.

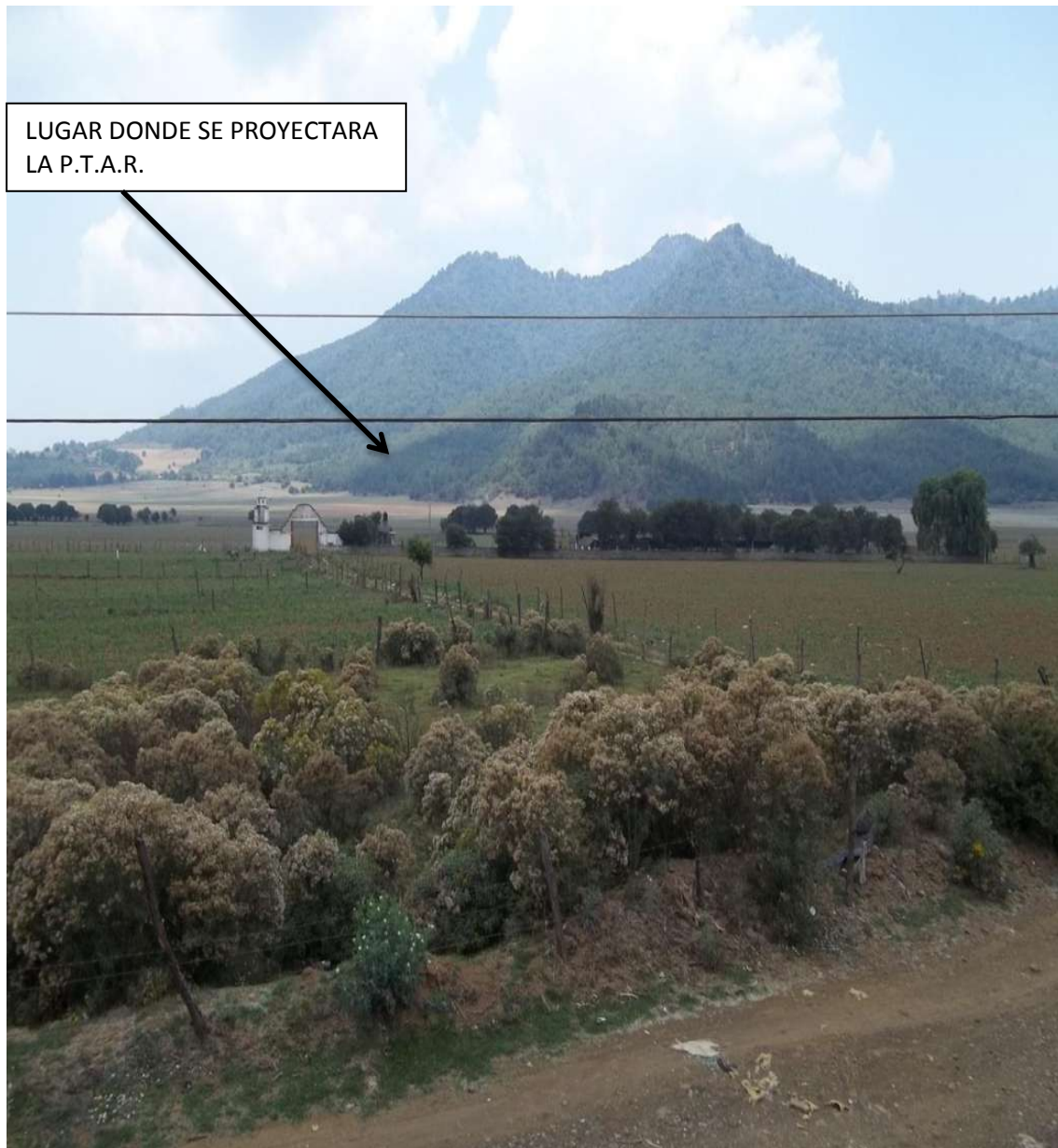


Imagen nº 10: Ubicación de la P.T.A.R.

En este apartado se realizara un análisis de las alternativas propuestas, pero ahora referente a las inversiones iniciales que se requieren para llevar a obra cada una de ellas. Un aspecto importante que debemos de rescatar al realizar este análisis es que de acuerdo a la información recabada por parte del personal del departamento de Urbanismo y Obras Públicas de la localidad se nos informó que el dueño del predio donde se proyectara dicha obra no tendría problemas para la venta del terreno.

En términos generales a continuación se presentan las inversiones que se requieren para llevar a cabo cada una de las alternativas planteadas que darán solución al sistema de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Nahuatzen, y más adelante se

realizara el desglose de cada una de ellas, lo cual nos permitirá no solamente tener una visión más amplia sobre cada una de ellas sino que también la elección de una de estas que permita dar solución al objetivo planteado en este proyecto de tesis:

NOMBRE DE LA ALTERNATIVA	INVERSIÓN
Aireación Extendida y Desinfección	\$ 9,293,918
Sistema RAFA, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección	\$ 9,353,680
Sistema de Lagunas: Anaerobia, Facultativa y de Maduración	\$ 11,937,439

Tabla n° 19: Inversiones requeridas para las alternativas de solución

Con base a la información anterior observamos que la alternativa que presenta la menor inversión inicial es la de Aireación Extendida y Desinfección, no obstante cabe mencionar que en esta alternativa sus costos de operación pueden resultar mayores, debido a que la aireación se realiza mediante el consumo de energía eléctrica.

Para tener una visión más clara sobre las inversiones iniciales que se realizaran en cada una de las alternativas propuestas se presenta a continuación un desglose de inversiones de cada una de ellas:

Al observar el análisis correspondiente de las alternativas de solución al sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen, se consideró llevar a cabo un sistema de lagunas de estabilización mediante, en donde la primera etapa se llevara a cabo mediante una laguna anaerobia, posteriormente el tratamiento secundario llevarlo a cabo en la laguna facultativa y finalmente para la obtención del efluente de calidad requerida por las normas vigentes, el tratamiento terciario se realizara a través de una laguna de maduración.

4.5 Elección de la alternativa de solución

En base a la información presentada anteriormente, se procedió a la elección de la alternativa más apropiada que dé solución al sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen.

Finalmente después de haber hecho un análisis de las alternativas, se tomó la decisión de optar por la alternativa que dará solución mediante un sistema de **lagunas de estabilización**, a través de tres lagunas: laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración o pulimento.

Lo cual se hizo básicamente por los costos y por qué es la que mejor se adapta a la localidad, debido a que este tipo de sistemas es apto para localidades pequeñas y medianas en donde se tenga la necesidad de realizar el tratamiento de aguas residuales de tipo domésticas y pequeñas industrias que no generen un gran impacto en cuanto a sus contaminantes y que además cuenten con grandes superficies de terreno para su construcción.

Si bien es cierto que el costo inicial de estos sistemas es mayor comparado con los dos restantes, posteriormente se notan los resultados ya que no requieren de mucha energía eléctrica comparado con los otros y además de su fácil manejo y operación no requieren de personal altamente capacitado.

AIREACIÓN EXTENDIDA Y DESINFECCIÓN.				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (en \$)	IMPORTE (en \$)
Excavación con maquina en material "A" en seco	m3	1,122	180	201,960
Relleno con material producto de la excavación	m3	224	27	6,048
Cárcamo de bombeo del efluente	m2	20	9,200	184,000
Rejilla, Desarenador, y Tanque repartidor	m2	24	10,500	252,000
Tanques de Aireación	m2	227	4,400	998,800
Sedimentadores Secundarios	m2	117	7,800	912,600
Espesadores	m2	4	8,700	34,800
Digestores Aerobios	m2	12	4,400	52,800
Tanque de contacto de cloro	m2	16	10,000	160,000
Edificio de cloración	m2	45	4,350	195,750
Edificio de sopladores	m2	90	4,350	391,500
Edificio Principal	m2	160	4,100	656,000
Caseta de Vigilancia	m2	30	5,000	150,000
Estacionamiento	m2	432	450	194,400
Jardín	m2	432	360	155,520
Andadores	m2	86	540	464,40
Caminos Vehiculares	m2	864	450	388,800
Cerca de malla ciclónica	ml	400	270	108,000
Bombas sumergibles en cárcamo de efluente	hp	20	10,500	210,000
Equipo de Aireación	hp	58	10,500	609,000
Equipos de Sedimentadores Secundarios	pza	2	210,000	420,000
Equipo de bombeo de recirculación de lodos	hp	14	10,500	147,000
Equipos d Espesadores	pza	1	30,000	30,000
Aireadores de Digestores	hp	2,7	10,500	28,350
Equipo de cloración	lote	1	37,500	37,500
Lechos de secado de lodos	m2	208	2,250	468,000
Líneas de conducción y de recirculación	m	400	525	210,000
Sistema Eléctrico	lote	1	187,500	187,500
Sistema de Alumbrado	lote	1	112,500	112,500
			Suma=	\$7,549,268
			7% de Ing y Admon.=	\$528,449
			Suma=	\$8,077,717
			IVA 16%=	\$1,292,435
			TOTAL=	\$9,370,151

Tabla nº 20: Desglose de inversión de la alternativa nº 1

REACTOR ANAEROBIO, FILTRO ROCIADOR, SEDIMENTADOR SECUNDARIO Y DESINFECCIÓN				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (en \$)	IMPORTE (en \$)
Desmante, desenraice, desyerbe y limpia del terreno	ha	1,119	4800	5371
Despalme de material no apto para cimentación y/o desplante de terraplenes y en bancos de préstamo, con carga y acarreo a un kilometro	m3	4476	37	165612
Excavación con maquina en material tipo "A" en seco.	m3	1119	120	134280
Estructura de pretratamiento.	Estructura	1	240000	240000
Cárcamo de bombeo del efluente	Cárcamo	1	210000	210000
RAFA	m2	151	10500	1585500
Tanques de Filtros Rociadores	m2	33	15000	495000
Sedimentadores Secundarios	m2	78	7800	608400
Espesadores	m2	9	8700	78300
Tanque de contacto de cloro	m2	29	10000	290000
Edificio de cloración	m2	45	4350	195750
Edificio Principal.	m2	160	4100	656000
Caseta de Vigilancia	m2	30	5000	150000
Estacionamiento	m2	432	450	194400
Jardín	m2	432	360	155520
Andadores	m2	86	540	46440
Caminos Vehiculares	m2	864	450	388800
Cerca de malla ciclónica	m2	400	270	108000
Equipos de bombeo del efluente	hp	6	10500	63000
Equipos de distribución de Filtros Rociadores	pza	2	14400	28800
Medio Filtrante Plástico Sintético	m3	7	7314	51198
Equipos de Sedimentadores Secundarios	pza	2	37500	75000
Equipo de bombeo de recirculación del efluente	hp	4	10500	42000
Equipo de Espesadores	pza	1	7500	7500
Equipo de cloración	lote	1	160000	160000
Líneas de interconexión	ml	160	2300	368000
Lechos de secado de lodos	m2	395	2000	790000
Sistema Eléctrico	lote	1	187000	187000
Sistema de Alumbrado	lote	1	112500	112500
			Suma=	\$7.592.371
			7% de Ing. Y Admon.=	\$531.466
			Suma=	\$8.123.837
			IVA 16%=	\$1.299.814
			TOTAL	\$9.423.651

Tabla nº 21: Desglose de la inversión para la alternativa nº 2.

SISTEMA DE LAGUNAS EN SERIE: ANAEROBIA, FACULTATIVA Y DE MADURACIÓN.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (en \$)	IMPORTE (en \$)
Desmante, desenraice, desyerbe y limpia de terreno.	ha	3,212	4,800	15,418
Despalme de material no apto para cimentación y/o desplante de terraplenes y en bancos de préstamo, con carga y acarreo a un kilómetro.	m3	12,848	37	475,376
Excavación con maquina en material tipo "A" en seco.	m3	48,180	25	1,204,500
Excavación con maquina en material tipo "C" en seco.	m3	19,272	145	2,794,440
Formación de bordos con material impermeable de banco.	m3	26,592	80	2,127,360
Estructura de pretratamiento.	Estructura	1	240,000	240,000
Edificio Principal.	m2	160	4,100	656,000
Caseta de Vigilancia	m3	30	5,000	150,000
Estacionamiento	m4	432	450	194,400
Jardín	m5	432	360	155,520
Andadores	m6	86	540	46,440
Caminos Vehiculares	m7	864	450	388,800
Cerca de malla ciclónica	m8	1400	270	378,000
Obras de paso de lagunas	lote	1	135,000	135,000
Sistema de Alumbrado	lote	1	225,000	225,000
Suma=				\$9,186,254
7% de Ing. Y Admon.=				\$643,038
Suma=				\$9,829,291
IVA 16%=				\$1,572,687
TOTAL=				\$11,401,978

Tabla nº 22: Desglose de la inversión de la alternativa nº 3.

CAPITULO V: DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Uno de los aspectos fundamentales que tenemos que tomar en cuenta para poder brindar protección a las fuentes de abastecimiento, así como los diferentes cuerpos receptores de agua, es contar con las tecnologías que nos permitan desarrollar un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales. En este capítulo se presenta un sistema basado en una serie de lagunas de estabilización que nos permita obtener una calidad del efluente requerida por las normativas vigentes.

En las pequeñas comunidades como es el caso de la localidad de Nahuatzen, que generan residuos líquidos biodegradables, las lagunas de estabilización pueden ser útiles como un sistema de tratamiento.

Las lagunas de estabilización, son una opción al sistema de tratamiento que se realizara en la localidad de Nahuatzen, ya que dicho sistema es útil en localidades rurales con disponibilidad de terreno con bajo costo de construcción, además presenta una escasa necesidad de mantenimiento.

Las lagunas de estabilización se han empleado para el tratamiento de aguas residuales desde hace 3,000 años. El primer tanque de estabilización artificial que se construyó fue en San Antonio Texas, en 1901. Para 1975 se encontraban operando 7000 sistemas de tratamiento basados en lagunas de estabilización en los Estados Unidos de Norteamérica y 868 en Canadá durante 1981 (Thirumurti, 1991). En nuestro país, actualmente se tienen instaladas 357 plantas con este sistema.

Después de realizar un análisis de cada una de las propuestas mencionadas en el capítulo anterior, las cuales una de ellas dará solución al sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen.

Una vez que conocemos que el agua residual de la localidad de Nahuatzen será tratada mediante un sistema de tratamiento basado en una serie de lagunas de estabilización, en este capítulo se abordará los aspectos relacionados con este sistema de tratamiento.

5.1 Lagunas de estabilización

Una laguna de estabilización es básicamente, una excavación en el suelo, en donde el agua residual se almacena para su tratamiento a través de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos.

En términos generales, las lagunas de estabilización son depósitos construidos mediante la excavación y compactación de la tierra, dichos depósitos tienen la función de almacenar agua de cualquier calidad por un determinado tiempo. Este sistema constituye un tratamiento alternativo interesante, ya que permite un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia (Oswald, 1995).

Las lagunas de estabilización son reactores bioquímicos, los cuales requieren de un diseño de forma adecuada, además de tomar en cuenta condiciones como el ambiente, lo cual determina su forma de operación.

Al ser descargada el agua residual en un sistema de tratamiento que conlleve a una serie de lagunas de estabilización, se desarrollan fenómenos de tipo físico, químico y biológico.

Los factores de mayor importancia que se presentan con la utilización de un sistema de tratamiento, basado en lagunas de estabilización de aguas residuales son:

- Proceso natural de autpurificación.
- Mediante este sistema, se presentan procesos de tipo físicos de remoción de materia suspendida.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en el agua residual.

Cabe mencionar que dependiendo de las condiciones que se presenten para resolver el problema del agua residual y de la calidad del efluente que se quiera obtener, las lagunas pueden ser utilizadas solas o de forma combinadas con otros procesos biológicos, o en su caso utilizar una combinación entre ellas, a lo cual se le denomina “sistema de lagunas de estabilización o tratamiento”.

El 60% que utiliza un sistema de tratamiento combinado (sistema de lagunas de estabilización), se compone por tres lagunas operando en serie, que será el caso para la localidad de Nahuatzen y el 35% de dos lagunas [Recault, etal, 1993].

5.1.1 Clasificación de las lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización pueden clasificarse de diferentes formas, entre las que destacan por:

- El tipo de reacción biológica predominante.
- La duración y frecuencia de la descarga.
- La extensión de la laguna.
- La presencia o ausencia de equipos de aeración.
- El tipo de células presentes

La manera más adecuada de clasificar a las lagunas está en función de la reacción biológica dominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza ya sea mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios). A partir de esto se conocen tres tipos de lagunas para el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales, las cuales son:

- **Lagunas Aerobias.**- en este tipo de lagunas el proceso de tratamiento se realiza en presencia de oxígeno disuelto, el cual es suministrado de forma natural o artificial, cuyo oxígeno tiene la función de estabilizar la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes.
- **Lagunas Anaerobias.**- en estas lagunas, el proceso de depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anóxicas) y/o combinado (anaerobia).
- **Lagunas Facultativas.**- aquí el proceso de estabilización de la materia orgánica, se realiza ya sea en condiciones aerobias como anaerobias. En donde las aerobias se mantienen en el estrato superior de la laguna, mientras que en el inferior, se lleva a cabo la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno. En algunos casos puede haber aeración artificial en parte de ellas.

Cabe mencionar que para el tratamiento de aguas residuales de tipo domésticas, se puede utilizar cualquier tipo de lagunas. Las lagunas aeradas son utilizadas generalmente para tratar aguas residuales de tipo industrial y domésticas de alta carga, mientras que las no aeradas son útiles prácticamente en su totalidad para el tratamiento de aguas residuales municipales.

Las **lagunas anaerobias** son utilizadas para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales industriales con un elevado contenido de carga orgánica, por lo general se emplean como la primera etapa de un sistema de lagunas en serie con alta carga.

Las **lagunas de maduración** son utilizadas para la remoción de microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes químicos que contribuyan a la desinfección del efluente, también son útiles para la nitrificación de efluentes. Estas lagunas son el último proceso de un sistema de lagunas en serie.

5.1.2 Ventajas y desventajas del uso de lagunas de estabilización.

Entre las principales ventajas que se tienen con el uso de lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales son:

- Bajo consumo de energía y costo de operación.
- Bajo capital de inversión (en costos de construcción).
- Esquemas sencillos de flujo.
- Equipo y accesorios simples, así como uso común. Entre las que destacan un mínimo de tuberías, bombas y aeradores).
- Operación y mantenimiento sencillo.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helminto.
- Amortiguamientos de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.

- Otras.

Ahora bien citaré algunas de las principales desventajas que se tienen con el uso de este sistema de tratamiento:

- Altos requerimientos de área (para nuestro caso en particular no se tiene este problema, por contar con grandes áreas de terreno).
- Su funcionamiento depende de condiciones ambientales, tales como la temperatura, la velocidad del viento, la radiación solar, etc. (propiedades aleatorias).
- Generación de olores desagradables (si está mal diseñada) y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes bajo ciertas condiciones climáticas.
- Pérdidas de agua debido a la evaporación de e infiltración, que en zonas de escasez pueden ser importantes.

5.2 Descripción del proceso de tratamiento de lagunas de estabilización

En este apartado se realizará una descripción del funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante el uso de lagunas de estabilización, el cual se eligió dentro de las alternativas propuestas como el más apropiado para darle solución al sistema de tratamiento de la localidad de Nahuatzen. Cuyo sistema se llevara a cabo mediante un tren de tratamiento basado en tres lagunas en serie: anaerobia, facultativa y de maduración o pulimento.

5.2.1 Lagunas anaerobias

En este tipo de lagunas, el proceso de depuración de las aguas residuales, se realiza en ausencia del oxígeno disuelto, sin embargo se lleva a cabo mediante el uso de oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos, nitritos, sulfatos y el CO_2 . Es posible llevar a cabo la descomposición anaerobia con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas.

Generalmente, el efluente en este tipo de lagunas es descargado a otra unidad (laguna facultativa), para completar el proceso de tratamiento y oxigenar el efluente. Un proceso combinado de sedimentación, así como de conversión biológica de los desechos orgánicos en gases, tales como (CH_4 , CO_2 H_2S), kidos orgánicos y nuevas células, es el que se utiliza para llevar a cabo la estabilización de la materia orgánica.

En este tipo de proceso de tratamiento, la degradación se lleva a cabo a través de bacterias formadoras de ácidos (fermentación de ácidos) y de bacterias metanogénicas (fermentación de metano). En donde las primeras, convierten los compuestos orgánicos en moléculas sencillas, mientras que estas últimas, los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en dióxido de carbono y CH_4 principalmente.

Este tipo de lagunas básicamente se diseñan para limpiarlas cada 2 a 4 años de operación, debido a que se realizan actividades de desazolve más frecuentes en comparación con las lagunas facultativas.

5.2.2 Lagunas facultativas

Una laguna facultativa, representan la segunda etapa del sistema de tratamiento de aguas residuales (caso particular), y está caracterizada por tres zonas bien definidas: zona superficial, zona de fondo y zona intermedia.

- Zona superficial.- en esta zona las bacterias y algas coexisten simbióticamente como el las lagunas aerobias.
- Zona de fondo.- de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos fermentativamente.
- Zona intermedia.- representa una combinación entre aerobia y anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza a través de bacterias aerobias, anaerobias y facultativas.

En la siguiente figura se presenta en proceso que realiza una laguna facultativa.

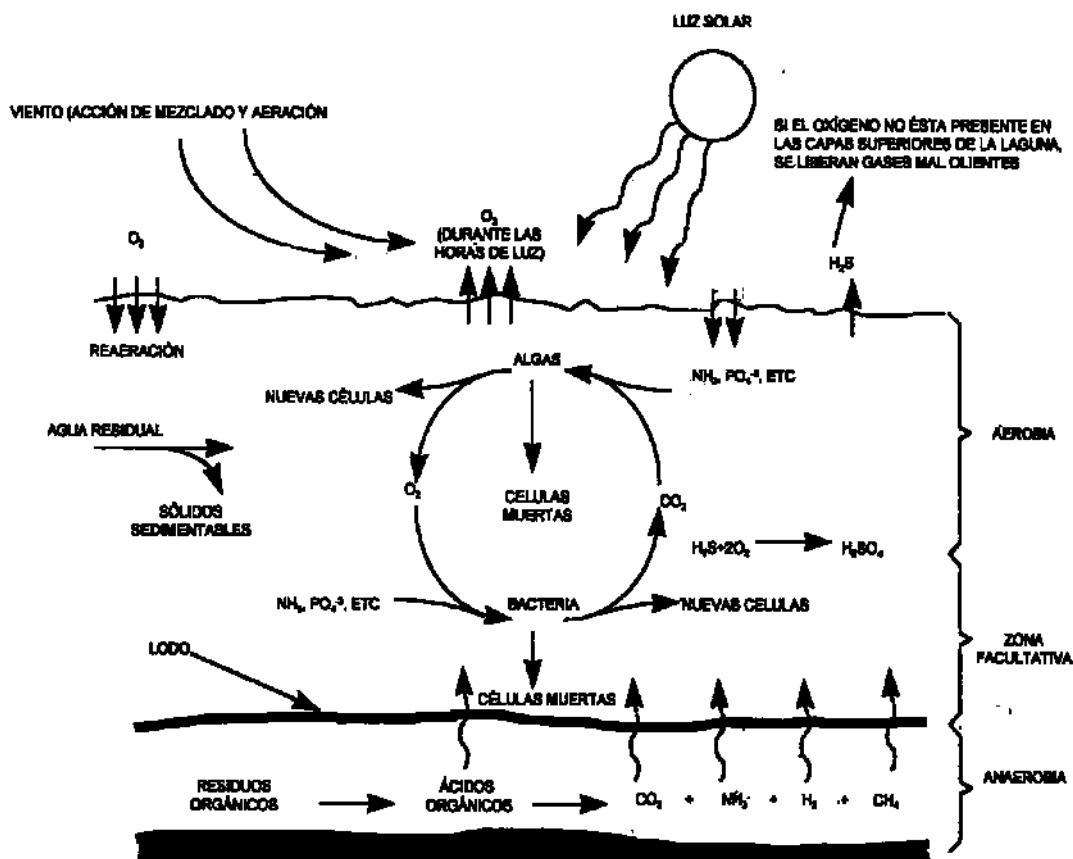


Figura N° 11: Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativa. Las algas que crecen abundantemente en la parte superior de la laguna producen oxígeno el cual es utilizado por organismos aerobios y facultativos, cuyos organismos

serán los encargados de llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica y coloidal. El dióxido de carbono producido sirve de fuente de carbono para las algas. En el fondo de la laguna se forma un estrato de lodo anaerobio, generado por la sedimentación de los sólidos presentes en el agua residual en esta parte de la laguna.

La descomposición anaerobia de la materia orgánica que se realiza en el fondo de la laguna resulta en una producción de compuestos orgánicos disueltos y gases tales como el dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el metano (CH₄), que son oxidados por las bacteria aerobias, o bien liberados a la atmósfera.

Por otro lado, cabe hacer mención que las lagunas facultativas se dividen a su vez en dos tipos:

- **Lagunas totalmente cerradas.**- este tipo de lagunas es aplicable en climas en los cuales las pérdidas por evaporación son mayores que la precipitación pluvial.
- **Lagunas de descarga controlada.**- se caracterizan por los largos tiempos de residencia y el efluente se descarga una o dos veces al año cuando la calidad es satisfactoria.

5.2.2.1 Factores que intervienen en su funcionamiento

Los factores que contribuyen en el funcionamiento de las lagunas de estabilización, esta en función del tipo de comunidad biológica que se desarrolla en las mismas así como de la eficiencia del tratamiento, entre los que destacan podemos mencionar los siguientes: calidad del agua a tratar, aspectos físicos y aspectos químicos.

- Calidad del agua a tratar

Sabemos que en un sistema de tratamiento de aguas residuales, basado en un sistema de lagunas de estabilización, cuya función es la remoción de la materia orgánica biodegradable, los sólidos suspendidos y los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales de tipo domésticas. Sin embargo se debe tomar en cuenta la presencia de contaminantes industriales que rebasen un volumen del 20% del total del flujo. Para ello se consideran los siguientes tres tipos de efluentes industriales que pueden afectar el funcionamiento de las lagunas de estabilización:

Efluentes con altas concentraciones de fenoles.- los cuales inhiben la fotosíntesis. Por lo cual se debe realizar un pretratamiento anaerobio o la segregación de la descarga tóxica.

Los de balance de nutrientes diferentes al requerido, tales como la demanda química de oxígeno (DQO), el nitrógeno (N), potasio (P) de 100:5.

Y finalmente los de un alto contenido de materia orgánica que requiere un pretratamiento.

- Aspectos físicos

Entre los que podemos encontrar son la intensidad de la radiación solar, el viento, la nubosidad, la precipitación pluvial, la temperatura, la infiltración y evaporación. En los párrafos siguientes se hará un breve análisis de estos factores y su participación en el funcionamiento de las lagunas de estabilización.

Intensidad de la radiación solar.- factor que está en función de la latitud, estación del año, hora del día, condiciones ambientales y tipo del cuerpo del agua. Constituye una fuente de energía para algunos procesos biológicos de la laguna así como en la determinación de su estructura térmica. Tiene una gran participación en la actividad biológica de las algas, así como para llevar a cabo la fotosíntesis.

En términos generales la radiación solar juega un papel importante en el funcionamiento de las lagunas de estabilización, ya que como se mencionó anteriormente la oxigenación suministrada por las algas es mayor que la aeración natural, cuyo proceso es útil para realizar la oxigenación de la materia orgánica, de aquí la importancia de conservar libre de sombras la laguna y de hacerlas muy profundas.

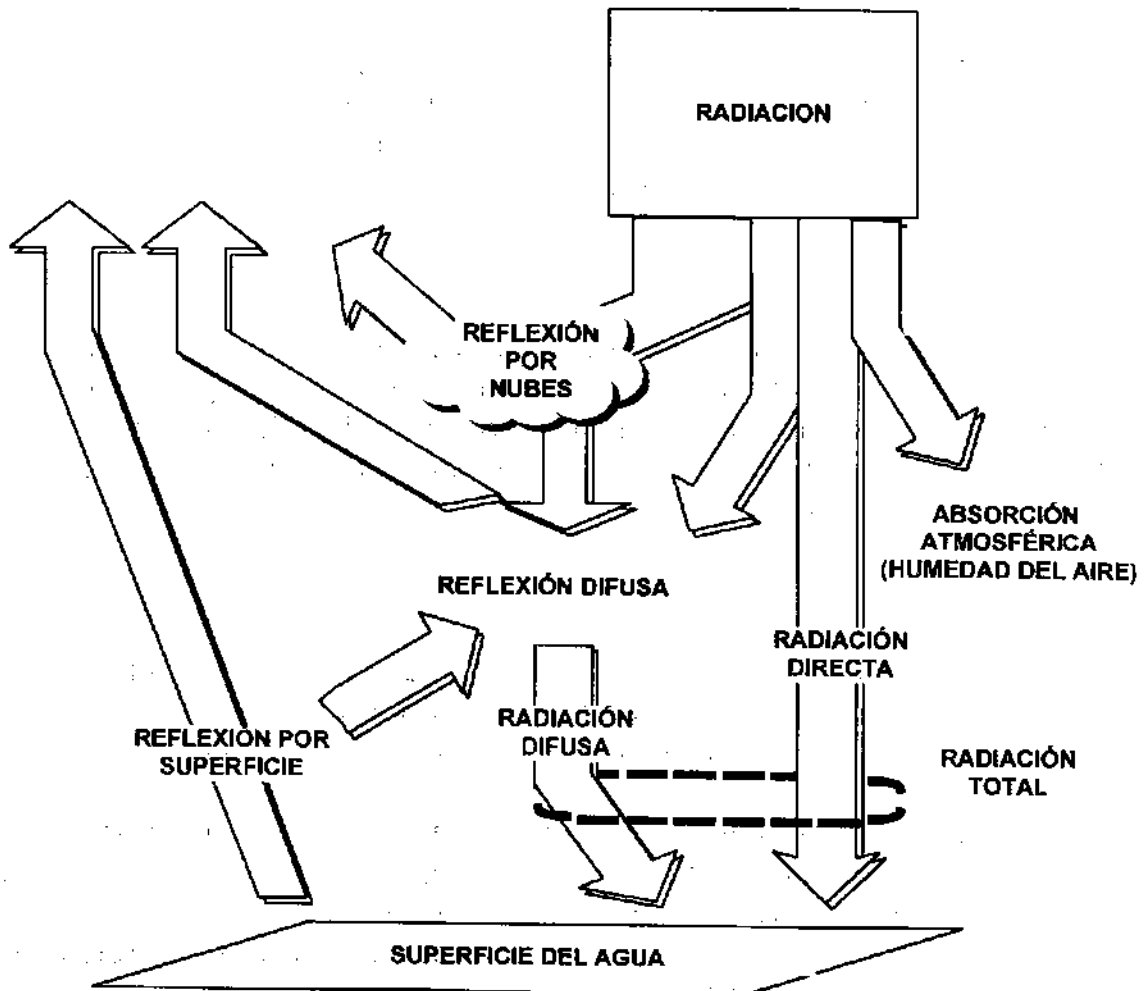


Figura N° 12: Dispersión de la radiación solar en un cuerpo de agua.

Viento.- interviene en el proceso de autodepuración provocando una mezcla y generar corrientes eléctricas de agua. Este factor ayuda al movimiento de las algas,

principalmente de aquellas que son consideradas como grandes productoras de oxígeno, tales como algas verdes.

Nubosidad.- las nubes son un agente importante para la dispersión y reflexión de la energía solar, capaces de reducir la radiación directa en un 80 a 90%. Esta reducción varía en función de la distribución, tipos de nubes, la cantidad de absorción, la dispersión atmosférica y de la distancia efectiva (espesor y contenido atmosférico).

Precipitación pluvial.- este factor tiene una influencia importante en el funcionamiento del proceso. Las precipitaciones aisladas o escasas no provocan efectos significativos en las lagunas (IMTA, CNA y TACSA, 1994). El tiempo de retención hidráulica se reduce generado de precipitaciones continuas, por otro lado, precipitaciones intensas diluyen el contenido de materia orgánica a la laguna y acarrear material orgánico y mineral a través del escurrimiento.

Temperatura.- este factor es probablemente uno de los parámetros más importantes en funcionamiento de las lagunas de estabilización. Cabe mencionar que en épocas de verano este factor suele encontrarse uno o dos grados debajo de la temperatura ambiente, mientras que en épocas de invierno se encuentra uno o dos grados arriba de la temperatura ambiente.

Las temperaturas altas permiten el desarrollo de algas azules pero su presencia se relaciona con el deceso de otro tipo de algas. Por el contrario, las bajas temperaturas abaten la eficiencia del tratamiento. Cuando la temperatura disminuye se presenta una reducción de la población de algas y del metabolismo bacteriano implicando una disminución de la eliminación de la contaminación orgánica y bacteriológica.

La Producción óptima de oxígeno se obtiene a los 20° C, los valores límites son 4° C y 35° C. En efecto a partir de 3°C la actividad fotosintética de las algas decrece y las lagunas se toman más sensibles a choques hidráulicos o a rápidos aumentos en la carga orgánica, lo cual trae como consecuencia una menor eficiencia de la remoción de la DB0. En cuanto a la fermentación anaerobia, ésta se origina, después de los 22° C y decrece a casi nada por debajo de los 15°C.

La temperatura, además incide sobre la tasa de mortalidad de coliformes. En general, la tasa de mortalidad de coliformes fecales se incrementa cuando este factor aumenta.

- Aspectos químicos

Entre los parámetros que inciden en el funcionamiento de las lagunas de estabilización podemos encontrar la fotosíntesis, el oxígeno disuelto, dióxido de carbono y pH, fósforo, nitrógeno y sulfuros.

La fotosíntesis.- por fotosíntesis podemos definir como el proceso mediante el cual las plantas fabrican su propio alimento. En la fotosíntesis gracias a la radiación solar las plantas transforman en hidratos de carbono tales como azúcar y almidón que son ricos en energía. De aquí que este factor es de gran importancia en el funcionamiento de las lagunas de estabilización, ya que la materia orgánica del agua residual es oxidada por las bacterias heterotróficas, utilizando el oxígeno producido por las algas. Las algas

utilizan la energía solar, con el CO_2 y el amoníaco producido por las bacterias, sintetizan materia orgánica y producen oxígeno.

Oxígeno disuelto.- este parámetro es fundamental para que se lleve a cabo el proceso aerobio, varía en función del día y la profundidad. La evolución diurna de una laguna muestra que el contenido de oxígeno es más elevado en el centro y la superficie. Durante la noche las corrientes térmicas mezclan las capas estratificadas lo cual garantiza una producción constante de oxígeno durante las mañanas.

Para que se pueda llevar a cabo una estabilización adecuada se requieren valores de oxígeno disuelto comprendidos entre el valor de saturación y un mínimo de 2 mg/l.

Dióxido de carbono y pH.- el dióxido de carbono (CO_2) es altamente soluble y forma ácido carbónico el cual se disocia y libera iones hidronio. En sistemas donde los carbonatos son abundantes, el pH es relativamente constante. Cuando las sales disueltas en el agua son pobres en carbonatos, la actividad biológica ocasiona grandes cambios de pH.

Durante las primeras horas diurnas, se pueden observar valores de pH inferiores a 7. El desarrollo de un pH demasiado alto ocasiona que la actividad bacteriana disminuye, se reduce la producción de dióxido de carbono (CO_2) y se limita el proceso simbiótico.

Fósforo.- este parámetro está presente como ión fosfato o en complejos orgánicos. Algunos fosfatos son altamente solubles en agua, en particular cuando, el oxígeno está presente. El fósforo es un nutriente limitante y su adición ayuda a mejorar los problemas ocasionados por una baja biodegradación.

Nitrógeno.- el nitrógeno está presente como N_2 , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ y en diversas formas orgánicas. Proviene de la precipitación, el suelo y el agua residual misma, pero su disponibilidad está regulada por los procesos biológicos. Varios tipos de bacterias y algas azul verdes fijan el N_2 en forma orgánica, incorporándolo en el ciclo de nutrientes. El nitrógeno debe estar disponible en relación con la materia orgánica para no volverse un limitante del crecimiento.

Sulfuros.- la existencia de compuestos de azufre, en el agua residual afecta la biota de las lagunas de estabilización, como cualquier proceso biológico. Hay dos tipos de bacterias que oxidan compuestos reducidos de azufre. Las primeras son las bacterias incoloras, estrictamente aerobias, las cuales utilizan oxígeno molecular como aceptor de electrones, mientras que las segundas son las bacterias fotosintéticas del azufre, estrictamente anaerobias, las cuales utilizan luz solar y sulfuros tales como CO_2 como aceptadores de hidrógeno.

5.2.3 Lagunas de maduración o pulimento

Este tipo de lagunas son útiles después de otros procesos con dos fines: el primero, mejorar la calidad del agua tratada y el segundo, reducir la cantidad de microorganismos patógenos. En algunas ocasiones se emplean para nitrificar.

Los procesos biológicos que se llevan a cabo en las lagunas de maduración son similares a los de las lagunas aerobias, aunque la fuente de carbono proviene principalmente de las bacterias formadas en las etapas previas del tratamiento. El

nitrógeno amoniacal es convertido a nitratos mediante el oxígeno presente en la laguna por fotosíntesis de las algas y por reaeración natural.

La muerte de las bacterias en las lagunas de pulimento depende de varios factores ambientales y climatológicos. Los principales son: pH alto, producción por algas de compuestos tóxicos extracelulares, agotamiento de nutrientes y exposición al sol (en especial a la luz ultravioleta). En consecuencia, una mayor exposición a la luz solar y el incremento en la concentración de algas implica un aumento en la tasa de remoción de las bacterias fecales y de patógenos.

Nota: cabe mencionar que existen otros tipos de lagunas de estabilización para realizar el proceso de tratamiento de aguas residuales, entre ellas se encuentran las lagunas aerobias, las cuales a su vez se clasifican en dos tipos: de alta tasa y de baja tasa, sin embargo este tipo de lagunas son útiles para realizar el tratamiento de aguas residuales de tipo industrial. También existen las lagunas semicirculares, aeradas de forma artificial, que también se pueden clasificar en dos tipos: aeradas con mezcla completa y aeradas con mezcla parcial, las cuales se utilizan principalmente en climas fríos y solamente para la remoción materia orgánica. Sin embargo solo se hizo mención de las lagunas que se utilizaran como sistema de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Nahuatzen.

5.3 Diseño de lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización se dieron de forma casual, debida a que las primeras simplemente se usaron y funcionaron aún a pesar de que estas no fueron diseñadas. Los modelos matemáticos son una herramienta de apoyo para el diseño de algún proceso. Cabe hacer mención que la complejidad de las reacciones biológicas y las interacciones que se dan entre ellas dificultan, por una parte, la racionalización de los criterios y recomendaciones de diseño y, por otra, el establecimiento de una metodología basada en un modelo matemático simple y universal para todas las lagunas.

5.3.1 Conceptos básicos de diseño

Existen metodologías que han sido propuestas para el diseño de los diferentes tipos de lagunas de estabilización como método de tratamiento de aguas residuales, las cuales juegan un papel fundamental para realizar un diseño adecuado y que la operación de las mismas sean lo más apropiado. A continuación se mencionan los conceptos en los que se basan la mayoría de los criterios y recomendaciones:

- **Tiempo de retención hidráulica (τ).**- es el tiempo que teóricamente pasa el agua dentro del sistema de tratamiento biológico y que se utiliza en el diseño. El cual se puede estimar bajo la siguiente ecuación:

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

Dónde:

V= volumen total del líquido contenido dentro de la laguna, m³
Q= gasto de agua, m³/d

- **Volumen efectivo (V_E).**- es el volumen donde se realiza efectivamente el tratamiento biológico y es menor que V debido a que toma en consideraciones los cortos circuitos y zonas muertas de la laguna. De la utilización de este volumen, se deriva el concepto de tiempo real de retención hidráulica.

$$t = \frac{V_e}{Q} < \tau$$

Dónde:

T = tiempo promedio real de retención hidráulica, obtenido a partir de un estudio de trazadores, d

V_E = volumen efectivo de la laguna, m^3

Q = gasto de agua, m^3/d

t = tiempo de retención hidráulica, d

- **Carga orgánica (C).**- es la masa de sustrato (materia orgánica medida como DBO_5 o DOQ) que se aplica directamente a la laguna y que será estabilizado en el tratamiento biológico. Su valor se expresa normalmente en kg de DBO_5 por unidad de tiempo. El cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C_o = \frac{S_i}{Q}$$

Dónde:

C_o = carga orgánica, kg DBO_5 .d

S_i = concentración de la DBO del influente, mg/l

Q = gasto de agua, m^3/d

- **Carga orgánica superficial (C_s).**- es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de área superficial. Se expresa en kg DBO/m^2 .d y se estima mediante la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{S_i * Q}{A}$$

Dónde:

C_s = carga orgánica superficial, kg $DBO_5.m^2$.d

S_i = concentración de la DBO del influente, mg/l

Q = gasto de agua, m^3/d

A = área superficial de la laguna, m^2

- **Carga orgánica volumétrica (C_v).**- es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de volumen y tiempo. Se expresa en kg DBO o DQO/m^3 .d y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{S_i * Q}{V}$$

Dónde:

- C_v = carga orgánica volumétrica, kg DBO₅/m³.d
 S_i = concentración de la DBO del influente, mg/l
 Q = gasto de agua, m³/d
 V = volumen total del líquido contenido dentro de la laguna, m³

Es importante hacer mención que tanto para la carga orgánica superficial como para la volumétrica es común omitir el término orgánico.

5.3.2 Diseño de lagunas anaerobias

Este tipo de lagunas se utilizan poco debido a los problemas relacionados con el olor. A finales del año de 1940, Parker demostró que si no se excede una determinada carga orgánica los gases malolientes no son de consideración. Por ejemplo, para las condiciones de África del Sur se estima 400 gDBO/m³.d como carga volumétrica límite antes de que se libere al ácido sulfhídrico (Mara, 1970 en Ouano, 1981).

La digestión anaerobia es más lenta que la reacción aerobia. En las lagunas anaerobias una gran parte de las partículas coloidales están bajo coalescencia formando natas y lodos que aceleran la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), suspendida por adsorción (Ouano, 1981). La digestión anaerobia es muy sensible, a los cambios de pH y no tiene lugar fuera del intervalo de 6.0 a 8.0, de tal manera que se requiere suficiente alcalinidad.

Las lagunas anaerobias en general reciben altas cargas orgánicas y no cuentan con zonas aerobias. Comúnmente, son de 2.5 a 5 m de profundidad. Las dimensiones se seleccionan dando una relación mínima del área superficial/volumen de manera que tenga una retención calorífica máxima (Eckenfelder Jr., 1989). La remoción de la DBO en el sistema es debida a la sedimentación y adsorción de los sólidos.

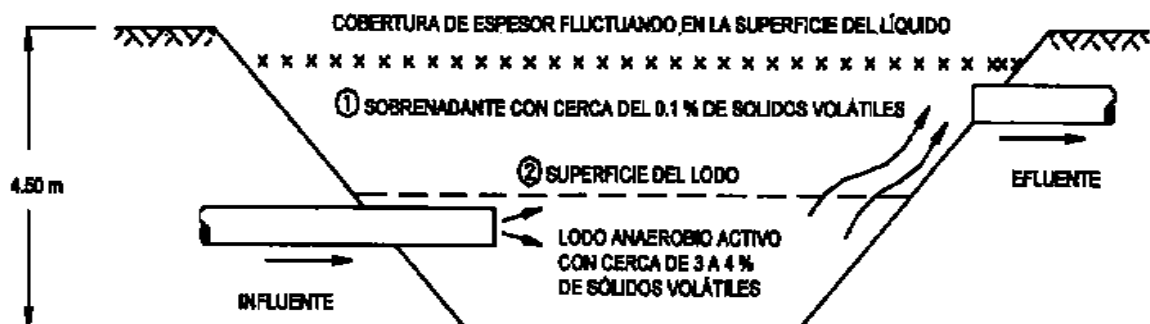


Figura N° 13: Esquema de una laguna anaerobia.

Para agua residual municipal, Mara reporta tasas de acumulación de lodos de 0.03 a 0.04 m³/hab.año. Para residuos industriales estima que del 20 al 30% de la DBO₅ en el influente es transformada en lodo. Así, las lagunas anaerobias remueven el 70% de la DBO influente; 50 a 40% de la DBO removida es convertida a CO₂ y gas metano. Del 40 a 60% de la DBO remanente es convertida a lodos. El contenido de sólidos sedimentables varía de 6 a 10% debido a la compactación. El desazolve es más frecuente en este tipo de lagunas que en las facultativas, por ello, se diseña una zona

profunda, de 2 a 4 veces el valor lateral del tanque. La digestión de los lodos esta limitada al 60% del contenido orgánico total debido al agotamiento del oxígeno contenido en las sustancias del lodo (Ouano, 1981).

Cuando la laguna esta llena con lodos a la mitad de su capacidad, es cuando se realiza el desazolve, cuyo tiempo de desazolve se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$\theta l = \frac{0.33 * V}{T_{ac} * P}$$

Dónde:

Θ_L = Período de desazolve, años

T_{ac} = Tasa de acumulación "n" de lodos, m_3 /hab.año

P= Población, habitantes

V= Volumen total del líquido contenido dentro de la laguna, m^3

A través de la práctica, se ha podido observar que es mejor secar la laguna que intentar remover el lodo. Las tuberías de dragado se pueden emplear para el desazolve, pero esta operación es sucia e ineficiente. En ocasiones se utilizan cucharas de dragado en forma, manual pero, también, con malos resultados. El lodo extraído conviene depositarlo en otra laguna anaerobia debido, a que en un kilogramo de sólidos están contenidos en 99.5 kg de agua (Ouano, 1981).

Para diseñar una laguna anaerobia o de cualquier tipo, existen métodos empíricos, y métodos cinéticos, entre los que destacan el de Kawai, Yáñez, Carga volumétrica, Sud Africano y el de la Comisión Nacional del Agua. Sin embargo solo se mencionaran en este proyecto de tesis el método de Yáñez y el de la Comisión Nacional del Agua.

5.3.2.1 Método de Yáñez

Existen varias correlaciones para el diseño de las lagunas anaerobias, desarrolladas a partir de datos colectados de plantas en operación. Las tres primeras fueron desarrolladas por Kawai (Yáñez, 1993) con datos de lagunas en Brasil:

$$\begin{aligned} S_e &= -14.4555 + 0.6876 S_i \\ S_e &= -86.0971 + 0.6543 S_i + 3.3985 T \\ S_e &= -265.0576 + 0.7491 S_i + 23.5258 \tau * \end{aligned}$$

Dónde:

S_e = Concentración de la DBO del efluente, mg/l

S_i = Concentración de la DBO del influente, mg/l

τ = Tiempo de retención hidráulica, d

T= Temperatura del agua, °C

Estas ecuaciones están establecidas con altos coeficientes de correlación (0.98) pero corresponden a valores reportados en plantas cuyas eficiencias de operación oscilan entre 60 % y 70 % de remoción de la DBO.

Las siguientes ecuaciones corresponden a los datos de operación de las lagunas de Al

Samra (Yáñez, 1993) para lagunas anaerobias primarias (agua residual cruda) y secundarias (agua residual ya tratada), respectivamente.

$$S_e = -1326 + 7.4T + 3961C_v - 68\tau^{**}$$

$$S_e = -138 + 0.35T + 3494C_v + 32\tau$$

Cada una de las variables que se muestran, ya fueron presentados en ecuaciones anteriores, por lo tanto su definición es la misma.

* y ** en la tabla siguiente se muestra los intervalos de las variables de proceso empleados en las lagunas de Al Samra.

Variables del Proceso	Unidad	Ecuación *		Ecuación **	
		Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio
DBO influente (Si)	mg/l	629-826	726	213-440	321
DBO efluente (Se)	mg/l	213-440	321	198-323	258
Eficiencia de remoción de la DBO	%	32-71	56	8,0-41	19
Temperatura del agua (T)	°C	14,4-27	20	13.8-27.5	20
Carga volumétrica de DBO (Cv)	kg/m ³ .día	0.091-0.153	0.117	0.029-0.078	0,05
Tiempo de retención	días	4-7	5.7	4.7-8	6.7

Fuente: Yáñez, 1993

Tabla Nº 23: Variables de las lagunas anaerobias de Al Samra

La carga volumétrica puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{S_i * Q}{A * h} = \frac{S_i}{\tau}$$

Dónde:

- C_v= Carga orgánica volumétrica, kg DBO/m³.d
- S_i= Concentración de la DBO del influente, mg/l
- Q= Gasto de agua, m³.d
- A= Área superficial, m²
- τ= Tiempo de retención hidráulica, d
- h= Profundidad de la laguna, m

La siguiente ecuación permite obtener el volumen operacional (V_E):

$$V_e = \frac{C_s * Q}{C_v}$$

Dónde:

- C_s= Carga orgánica volumétrica, kg DBO/m³.d
- C_v= Carga orgánica superficial, kg DBO/m².d

$Q = \text{Gasto de agua, m}^3 \cdot \text{d}$

El área de la laguna se puede determinar por medio de la profundidad de la misma, la cual se encuentra entre 2 y 5 m. Pero el considerar este parámetro puede traer serias limitaciones por lo que se emplea el área a una profundidad media (A_{an}) dada por la siguiente ecuación:

$$A_{an} = \frac{V_e}{h}$$

Dónde:

A_{an} = Área a la profundidad media de la laguna anaerobia, m^2

V_E = Volumen efectivo de la laguna, m^3

h = Profundidad de la laguna, m

Hoy día, debido a su pequeña área, las lagunas anaerobias se dimensionan por carga orgánica superficial. Las ecuaciones son similares a las de las lagunas facultativas e involucran cargas orgánicas superficiales del orden de 280 a 4,500 kg/ha.d. La experiencia Latinoamericana sugiere un tiempo de retención mínimo (tomando en cuenta la zona de almacenamiento de lodos) de 1 día.

El valor permisible de diseño de C_v se incrementó con la temperatura, pero existen pocos datos que permiten el desarrollo de una ecuación de forma adecuada para el diseño. Sin embargo, las recomendaciones generales de Mara y Pearson (1986 en CNA e IMTA, 1994), las cuales se mencionan en la siguiente tabla, y que a su vez pueden ser útiles para el diseño en nuestro país (México).

Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles en función de la temperatura.

Temperatura °C	Carga volumétrica g/m ³ .día	Remoción de DBO
<10	100	40
010-20	20T-100	2T+20
>20	300	60

Tabla Nº 24: Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles en función de la temperatura.

* valores más altos pueden utilizarse si la experiencia local indica que es apropiado.

Fuente: CNA e IMTA, 1994

5.3.2.2 Método de la Comisión Nacional del Agua

Este método relaciona la carga volumétrica y la temperatura, en temperaturas de 15 a 35 °C es donde presenta la máxima eficiencia. Y la carga volumétrica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{S_i * Q_m}{C_v}$$

Dónde:

V_a = Volumen, m^3

S_i = Concentración de la DBO del influente, mg/l

Q_m = Gasto medio de agua, m^3 .día

C_v = Carga orgánica volumétrica, kg DBO/ m^3 .día

Mientras que el tiempo de retención hidráulica (τ), se calcula bajo la ecuación:

$$\tau = \frac{V_a}{Q_m}$$

Ahora bien el área de la laguna se obtiene con la ecuación:

$$A = \frac{V_a}{h}$$

Dónde:

A = área de la laguna anaerobia, m^2

V_a = Volumen, m^3

h = Profundidad, se asume de 2 a 4 mts

En términos generales podemos concluir que para el diseño de lagunas anaerobias, existen 5 métodos, de los cuales 4 son empíricos y 1 semi-empírico. El común denominador de todos estos métodos de diseño es la remoción de la materia orgánica obtenida por la sedimentación de los sólidos orgánicos e inorgánicos.

De tal manera que la temperatura y la carga orgánica contenida en el agua residual son los parámetros fundamentales que rigen el proceso de tratamiento.

5.3.3 Diseño de lagunas facultativas

El tipo de sistemas de tratamiento, basado en lagunas facultativas son las más utilizadas para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales ya sean domésticas o industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua residual doméstica o lagunas fotosintéticas. El tiempo de retención hidráulica (τ) varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1.5 a 2 m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. Se recomienda mantener un bordo libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas.

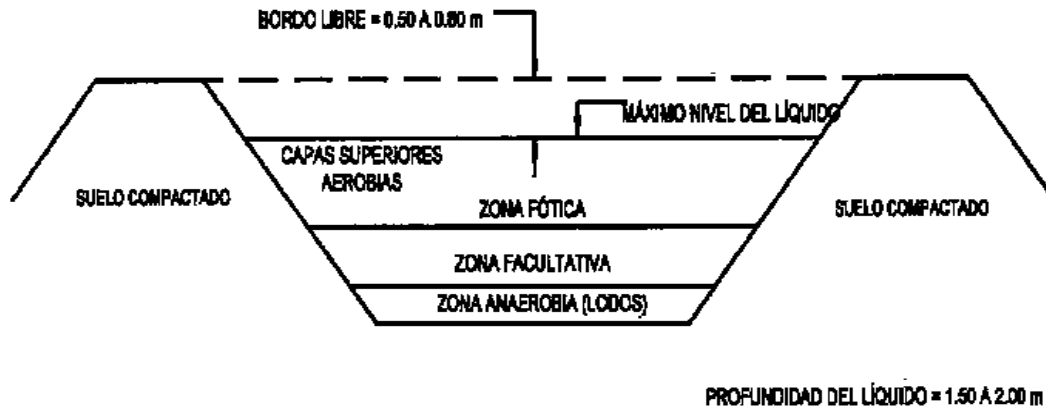


Figura Nº 14: Laguna facultativa típica

El parámetro de diseño y de operación más importante de las lagunas facultativas es la producción de oxígeno. La principal fuente es la fotosíntesis de las algas y, la segunda, el aire atmosférico transferido por la acción del viento. El oxígeno es usado por las bacterias aerobias para la estabilización de la materia orgánica en la capa superior. Entre la capa aerobia y anaerobia, la concentración del oxígeno disuelto (OD) varía de la sobresaturación al medio día a un nivel prácticamente no detectable durante las primeras horas de la madrugada. En la siguiente imagen se muestra la fluctuación del Oxígeno Disuelto en una laguna facultativa.

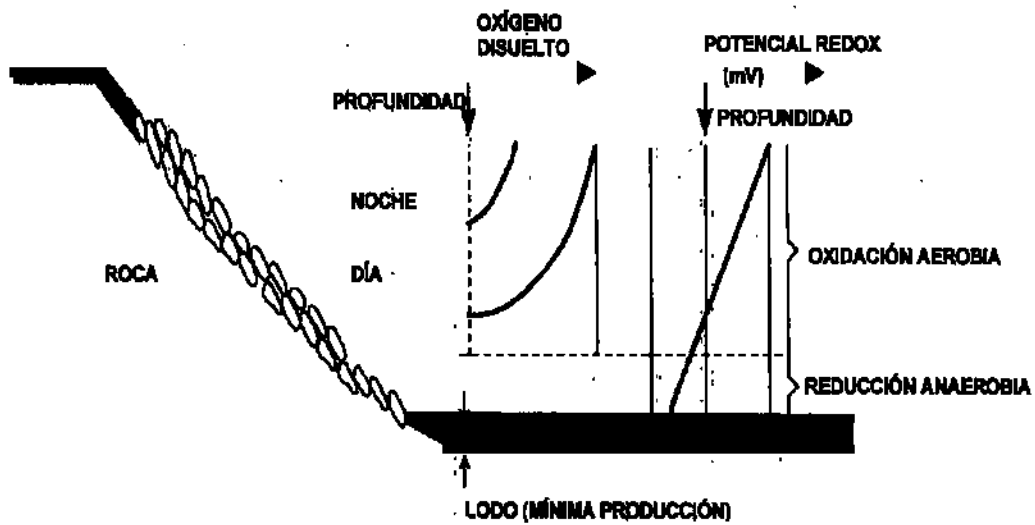


Imagen Nº 15: Fluctuación de Oxígeno Disuelto (OD) en una laguna facultativa.

Las lagunas facultativas pueden sobrecargarse orgánicamente, en este caso, opera como laguna anaerobia. El fenómeno de sobrecarga en este tipo de lagunas se refleja en la inhibición del desarrollo de las microalgas por la presencia del sulfuro de hidrógeno, ácidos volátiles o un ambiente fuertemente reductor. La ausencia de luz debida al contenido de materia suspendida en el cuerpo de agua y la absorción de la radiación solar por las natas formadas (generalmente de color negro) fomentan la generación de sulfuro ferroso, limitando también la producción fotosintética de oxígeno. Una laguna así operada se encuentra propensa a un mal funcionamiento, generación de olores

ofensivos, propagación de insectos y a una pobre eficiencia en la remoción de materia orgánica.

Existen diferentes métodos de diseño tanto empíricos como científicos, los cuales han sido desarrollados para diseñar las lagunas facultativas, entre los que destacan los modelos empíricos, semi-empíricos, cinéticos y teóricos.

En donde los modelos empíricos, se fundamentan en una colección y análisis de datos de plantas existentes como los de McGarry y Pescod, USEPA y Canter y Englande; los Semi-empíricos se basan en la simplificación de conceptos teóricos de remoción de carga orgánica e hidráulica, ocasionalmente combinados con los resultados obtenidos en plantas piloto a nivel laboratorio (por ejemplo, Mara, Gloyna, Arthur y Yáñez); los modelos cinéticos emplean la teoría cinética de los reactores bioquímicos para tratamiento (Wehener-Wilhelm, completamente mezclado y flujo pistón) y los teóricos interrelacionan la teoría cinética con parámetros como materia orgánica, fitoplancton, oxígeno disuelto, nutrientes y lodos (los modelos empleados son los de la relación del oxígeno fotosintético y el de Llavador y Prats). Los modelos teóricos representan en matemática los procesos físicos y bioquímicos responsables de la degradación de la materia orgánica.

Sin embargo en este proyecto, solo se presentará el método de diseño de la Comisión Nacional del Agua.

5.3.3.1 Método de la Comisión Nacional del Agua

Este método se realiza en función de la carga superficial y el tiempo de retención hidráulica, para lo cual se mencionará el procedimiento del cálculo de estos parámetros.

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

Dónde:

λ_s = Carga orgánica superficial, kg DBO/m².d
T = temperatura del agua, °C

Área requerida calculada mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{10S_i * Q_m}{\lambda_s}$$

Dónde:

A = área de la laguna facultativa
 λ_s = Carga orgánica
 S_i = concentración de la DBO en el influente, mg/l
 Q_m = Gasto medio de agua, m³/d

Tiempo de retención hidráulica:

$$\tau = \frac{A * h}{Q_m}$$

h= profundidad (m), se asume de 1.5 a 2.0 m

Ancho de la laguna:

$$W = \sqrt{\frac{A}{X}}$$

Dónde:

W= ancho de la laguna, m
 X= Relación largo/ancho= L/W

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) remanente:

$$S_e = S_i * e^{-kt}$$

Dónde:

Se= Concentración de la DBO en el efluente, mg/l
 Si= Concentración de la DBO en el influente, mg/l
 e= 2.717281
 k= Constante de decaimiento de DBO (día⁻¹)
 T= Temperatura, °C
 τ= Tiempo de retención hidráulica, d

Resolviendo la ecuación de la DBO remanente

T °C	5	10	15	20	25	30	35
Kf= (día⁻¹)	0.103	0.12	0.24	0.35	0.53	0,80	1.2

Tabla N° 25: Constantes de decaimiento de DBO

Remanente de coliformes fecales, se calcula mediante:

$$d = \frac{x}{1.013x^2 + 0.25392x - 0.26118}$$

Dónde:

d= Dispersión, (adimensional)
 x= Relación largo/ancho, adimensional

Calculo de las constantes de decaimiento bacteriano:

$$K_b = K_{b(20)} (1.07)^{T-20}$$

$$K_{b(20)} = 0.841 \text{ d}^{-1}$$

Resolviendo la ecuación de decaimiento bacteriano para diferentes temperaturas:

T °C	5	10	15	20	25	30	35
Kf= (día-1)	0.3	0.43	0.6	0.84	1.17	1.65	2.31

Tabla N° 26: Constantes de decaimiento bacteriano.

Ahora con los valores de d, Kb y τ se calcula el factor de relación “a”

$$a = \sqrt{(1 + 4Kbtd)}$$

El número más probable de coliformes en el efluente de la laguna es:

$$Ne = [(4ae^{(1-a)}/ 2d) \div (1+a)^2] Ni$$

Dónde:

Ne= NMP/100 ml, coliformes fecales en el efluente

Ni= NMP/100 ml, coliformes fecales en el influente

Como conclusión a este diseño de las lagunas facultativas podemos concluir que existen diversos métodos que permiten realizar el diseño de una laguna de estabilización, estos pueden ser empíricos, semi-empíricos o cinéticos. El común denominador de todos los métodos existentes, es que están concebidos por la materia orgánica, respecto al sugerido por la Comisión Nacional del Agua, el cual toma como diseño de remoción la carga superficial y coliformes fecales, parámetro de vital importancia si tomamos en cuenta que en nuestro caso en particular el efluente resultado del sistema de tratamiento se utilizara en riego agrícola, siendo los coliformes fecales el parámetro más representativo sanitariamente.

5.3.4 Diseño de lagunas de maduración o pulimento

Una vez que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), ha sido degradada a niveles aceptables para su descarga a corrientes de agua la concentración de los coliformes fecales por lo común es muy alta (106 o 107). En este caso se recurre al uso de lagunas de maduración que además pueden servir de criadero de peces.

Un problema en el diseño de este tipo de lagunas es que no han sido ampliamente estudiados los factores que afectan la muerte bacteriana. Actualmente, la mayoría de las lagunas de maduración se diseñan con base en métodos empíricos y semi-empíricos a partir de fórmulas desarrolladas para las lagunas de tipo facultativas. Sin embargo, algunos de los estudios reportados en la literatura como el de Oswald, Thirumurti y Mara han revelado que la muerte bacteriana depende principalmente de parámetros ambientales y climatológicos. Los parámetros que han sido postulados como aquellos que interfieren son: pH alto (Parhad y Rao), la producción de compuestos extracelulares tóxicos por las algas (Davis y Gloyna), el agotamiento de los nutrientes (McGarry et al.) y la exposición al sol o a la luz ultravioleta (Kapuscinski *et al.*; Moller *et al.*). Polprasert *et al.*, 1983 (en Quin *et al.*, 1991) además de la temperatura, incluyeron los efectos de la concentración de algas, la carga orgánica, la intensidad y duración de la luz, el tiempo de retención hidráulica, la rapidez de degradación del sustrato y el coeficiente de dispersión para la muerte bacteriana. Mancini y Ridgewood por su parte, indicaron que la

muerte bacterial también depende del coeficiente de extinción de la luz y la profundidad del agua para conseguir un mezclado perfecto. Asimismo, Parhad y Rao determinaron que la generación de efectos antagónicos y antibióticos afectan la tasa de decaimiento bacterial (Quin et al., 1991).

En general, una laguna de maduración tiene una profundidad de 0.9 a 1.5 m. El tiempo de retención depende de la eficiencia de remoción de patógenos usando a los coliformes fecales como indicadores, aunque hay modelos que incluyen la remoción de huevos de helmintos.

Los métodos de diseño se dividen en empíricos, semi-empíricos y cinéticos. Los últimos fueron desarrollados por Mara y la OPS. Sin embargo se ha establecido que los métodos empíricos son más confiables (Quin et al., 1991 y Ayres et al., 1993).

El método que presenta la Comisión Nacional del Agua en el diseño de lagunas de maduración, es similar el cálculo al que se realiza en una laguna facultativa, la diferencia radica en el cálculo de la carga orgánica superficial. La cual está dada mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda_s = 100(1.085)^{T-20}$$

λ_s = carga orgánica superficial

T = Temperatura del agua, °C

CONCLUSIONES

Como se pudo observar en base a la información que se presentó en este proyecto de tesis, existen diversos tipos y/o procesos de tratamiento de aguas residuales que pueden resultar efectivos, sin embargo en este proyecto solamente se analizaron los siguientes:

- Aeración Extendida y Desinfección.
- RAFA, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección.
- Lagunas de Estabilización.

Alternativas que resultan de mayor interés para la localidad de Nahuatzen de acuerdo a las características de la localidad, sin embargo se seleccionó la alternativa basada en un sistema de lagunas de estabilización, básicamente por dos razones:

1. En el plazo del periodo de vida de la obra (P.T.A.R.), presenta un mejor desempeño financiero en comparación con las dos restantes.
2. Este tipo de tratamiento no requiere personal altamente calificado para su operación, cuestión que resulta muy importante en todos los municipios con vocación rural.

Se considera con esta obra, que se cumplirá con lo que marca la norma NOM-001-SEMARNAT-96 durante todo el horizonte de proyecto (20 años).

De acuerdo a experiencias disponibles de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento a base de lagunas de estabilización, fluctúa entre 20 y 25% del costo de una planta de tratamiento convencional, lo que económicamente resulta muy considerable. Por tal razón y de acuerdo a las características climáticas de nuestro país, al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales, debemos de tomar en cuenta como primera opción en un sistema a base de lagunas de estabilización.

Se propone que el agua sea reutilizada para el riego parcelario y huertas frutícolas típicas de la región, con el fin de utilizar este tan apreciado líquido y a la vez tan escaso en la región.

Por lo que se recomienda a los usuarios revisar los programas de apoyo o subsidios federales para el desarrollo de esta nueva infraestructura.

Es de vital importancia saber que en la Meseta Purépecha el agua es tan escasa que sería una aberración dejarla ir sin aprovecharla.

Como comentario final puedo decir que el agua es un líquido de vital importancia para el ser humano, por lo que debemos hacer conciencia y generar en las futuras generaciones una cultura de reúso y tratamiento de la misma, con lo cual se obtendrá una mejor calidad de vida y en especial en la región de la Meseta Purépecha un adecuado desarrollo de sus municipios.

BIBLIOGRAFÍA:

1. El reto de los Sistemas de Drenaje y de las Plantas de Tratamiento, Secretaria de Planeación y Desarrollo Estatal (2002 – 2008).
2. Secretaria de Gobernación, Gobierno del Estado de Michoacán, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Centro Estatal de Estudios Municipales: los municipios de Michoacán.
3. Enciclopedia de los Municipios de México, Michoacán: Nahuatzen.
4. Base de datos del H. Ayuntamiento del Municipio de Nahuatzen (2008 – 2011), Dirección de Urbanística y Obras Públicas.
5. Base de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INNEGI), Comisión Nacional de Población (CONAPO) y Cartas Topográficas.
6. Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS 2007), “Datos Básicos”, Diciembre, 2007.
7. Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evacuación y Reutilización de las Aguas Residuales; Segunda Edición Metcalf & Eddy, Inc.
8. Técnicas Básicas de Ingeniería, Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales; Metcalf & Eddy, Editorial Labor, S. A.
9. Ingeniería Sanitaria, Redes de Alcantarillado y Bombeo de Aguas Residuales; Metcalf & Eddy.
10. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, “Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos”, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Septiembre, 1994.
11. Tratamiento de Aguas Residuales, R. S. Ramalho, Faculty of Science and Engineering, Laval University, Quebec, Canadá.
12. Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización, Tercera Edición; Jairo Alberto Romero Rojas, Ed. Alfaomega, 1999.
13. Estadísticas del Agua en México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), edición 2011.
14. Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS 2007), “Diseño de Lagunas de Estabilización”, Diciembre, 2007.
15. Comisión Nacional del Agua, Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, Diciembre de 2010.

ANEXO 1: COSTOS

Análisis de costos de las alternativas de solución al sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Nahuatzen.

ALTERNATIVA	INVERSIÓN INICIAL			
	Terreno Requerido (ha)	Costo del Terreno (\$)	Construcción de la Planta (\$)	Total
Aeración Extendida y Desinfección	0,4	120,000	9,293,918	9,413,918
RAFA, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección.	0,4	120,000	9,353,680	9,353,680
Lagunas de Estabilización: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.	5	1,500,000	11,937,439	13,437,439

ALTERNATIVA	COSTO DE OPERACIÓN (\$/año)				
	Energía eléctrica	Nomina	Mantenimiento	Cloro	Total
Aeración Extendida y Desinfección	147,077	596,160	464,696	93,241	1,301,174
RAFA, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección.	40,798	417,312	467,684	93,241	1,019,035
Lagunas de Estabilización: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.	47,984	357,696	238,749	0	6,444,29

ALTERNATIVA	Costo de Inversión	Costo de Operación	Costo/m3
	(\$/m3)	(\$/m3)	(\$)
Aeración Extendida y Desinfección	1.84	1.9	3.74
RAFA, Filtro Rociador, Sedimentador Secundario y Desinfección.	1.85	1.49	3.34
Lagunas de Estabilización: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.	2.62	0.94	3.56

ANEXO 2: SITUACION ACTUAL DE LAS PTAR´s A NIVEL NACIONAL Y ESTATAL

Inventario Nacional de Plantas Municipales de Tratamiento de Agua Residuales en operación.

ESTADO	NÚMERO DE PLANTAS	CAPACIDAD INSTALADA (l/s)	CAUDAL TRATADO (l/s)
Aguascalientes	131	4583.0	2 931.2
Baja California	36	7568.6	6 697.6
Baja California Sur	23	1447.5	1 062.8
Campeche	22	143.0	99.8
Coahuila de Zaragoza	23	5206.5	4 026.0
Colima	65	1809.2	1 368.4
Chiapas	21	1392.5	918.2
Chihuahua	154	9173.1	6 433.8
Distrito Federal	28	6770.5	3 329.8
Durango	175	4371.9	3 359.6
Guanajuato	62	5 990.4	4 443.6
Guerrero	57	3 875.8	3 355.0
Hidalgo	17	377.5	367.2
Jalisco	124	4 366.6	3 811.3
México	136	8 396.0	5 999.6
Michoacán de Ocampo	25	3 583.0	2 793.1
Morelos	42	1 726.7	1 336.6
Nayarit	64	2 393.6	1 628.4
Nuevo León	61	13 249.0	10 138.9
Oaxaca	69	1 520.5	995.1
Puebla	74	3 178.0	2 571.1
Querétaro de Arteaga	83	2 278.4	1,499.3
Quintana Roo	31	2 216.5	1 725.2
San Luis Potosí	30	2 333.7	1 906.2
Sinaloa	185	5 645.4	4 809.6
Sonora	81	4 685.3	2 960.4
Tabasco	76	1 911.0	1 561.0
Tamaulipas	42	7 088.8	4 962.5
Tlaxcala	57	1 312.8	900.1
Veracruz	106	6 859.9	4 603.3
Yucatán	25	422.2	130.7
Zacatecas	61	970.8	875.0
Total Nacional=	2186	126847.5	93 600.2

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Diciembre de 2010.

Resumen por proceso

PROCESO	PLANTAS		CAPACIDAD INSTALADA		CAUDAL TRATADO	
	Nº	%	l/s	%	l/s	%
Aerobio	6	0.27	310.0	0.24	130.2	0.14
Anaerobio	79	3.61	894.7	0.71	530.2	0.57
Biológico	19	0.87	402.0	0.32	328.5	0.35
Discos biológicos o biodiscos	9	0.41	514.5	0.41	331.5	0.35
Dual	12	0.55	5 426.5	4.28	4 376.5	4.68
Filtros biológicos o rociadores	42	1.92	6 008.0	4.74	4 974.5	5.31
Fosa séptica	86	3.93	164.9	0.13	108.6	0.12
Fosa séptica + Filtro biológico	11	0.50	25.6	0.020	16.4	0.02
Fosa séptica + Wetland	73	3.34	173.2	0.14	106.5	0.11
Humedales (Wetland)	66	3.02	625.5	0.49	420.5	0.45
Lagunas Aireadas	33	1.51	9 540.2	7.52	8 424.2	9.00
Lagunas de estabilización	723	33.07	19 532.7	15.4	13 564.9	14.49
Lodos Activados	629	28.77	67 925.8	53.52	48 629.9	51.95
Primario Avanzado	14	0.64	6 415.0	5.06	5 707.7	6.1
Primario o Sedimentación	21	0.96	2 787.2	2.20	1 598.6	1.71
RAFA + Filtro Biológico	27	1.24	149.3	0.12	84.4	0.09
RAFA o Wasb	137	6.27	1 761.0	1.39	1 145.5	1.22
RAFA, Wasb + Humedal	9	0.41	60.7	0.05	41.6	0.04
Reactor Enzimático	70	3.20	158.3	0.12	130.5	0.14
Sedimentación + Wetland	18	0.82	36.1	0.03	24.7	0.03
Tanque Imhoff	58	2.65	574.2	0.45	429.2	0.46
Tanque Imhoff + Filtro biológico	14	0.64	50.2	0.04	20.8	0.02
Tanque Imhoff + Wetland	1	0.05	80.0	0.06	80.0	0.09
Terciario	2	0.09	45.0	0.04	26.0	0.03
Zanjas de Oxidación	25	1.14	3 126.9	2.47	2 339.7	2.50
Otro	2	0.09	60.0	0.05	29.2	0.03
Total Nacional=	2186	100	126 847.5	100	93,600.2	100

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Diciembre de 2010.

Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación en el estado de Michoacán.

MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DE LA PLANTA	PROCESO	CAPACIDAD INSTALADA (l/s)	CAUDAL TRATADO (l/s)	CUERPO RECEPTOR
Briseñas	Briseñas de Matamoros	Briseñas	Lagunas de Estabilización	6.0	6.0	Río Lerma
Cherán	Cherán	Cherán	Filtros biológicos o Rociadores	27.0	5.0	Barranca Ucumititro
Coahuayana	Coahuayana de Hidalgo	Coahuayana	Lagunas de Estabilización	23.0	23.0	Arroyo Ticuiz
Cuitzeo	Cuitzeo del Porvenir	Cuitzeo	Humedales (Wetland)	25.0	6.0	Lago Cuitzeo
Erongarícuaro	Erongarícuaro	Erongarícuaro	Humedales (Wetland)	6.0	6.0	Lago de Pátzcuaro
La Huacana	La Huacana	La Huacana	RAFA o WABS	60.0	32.0	Río La Huacana
Lázaro Cárdenas	Ciudad. Lázaro Cárdenas	Municipal n° 1	Lodos Activados	360.0	280.0	Río Balsas
Lázaro Cárdenas	Ciudad. Lázaro Cárdenas	Municipal n° 2	Lodos Activados	40.0	30.0	Río Balsas
Lázaro Cárdenas	Las Guacamayas	Las Guacamayas	Lodos Activados	120.0	90.0	Arroyo el Barco
Morelia	Atapaneo (las fosas de Atapaneo)	Planta de tratamiento de aguas residuales de Morelia	Lodos Activados	1200.0	939.0	Lago de Cuitzeo
Morelia	Jesús del Monte	Jesús del Monte	Lodos Activados	5.0	3.0	Río Chiquito
Morelia	San Miguel del Monte	San Miguel del Monte	RAFA o WABS	3.0	2.0	Río Chiquito
Paracho	Paracho	Paracho	Lagunas de Estabilización	35.0	5.0	Riego Agrícola
Pátzcuaro	Isla de Janitzio	Janitzio	Lodos Activados	7.0	1.0	Lago de Pátzcuaro
Pátzcuaro	Pátzcuaro	San Pedrito	Lodos Activados	105.0	75.0	Lago de Pátzcuaro
Pátzcuaro	Pátzcuaro	Las Garzas	Zanjas de Oxidación	20.0	15.0	Lago de Pátzcuaro
La Piedad	La Piedad de Cabadas	La Piedad	Lagunas Aireadas	200.0	190.0	Río Lerma

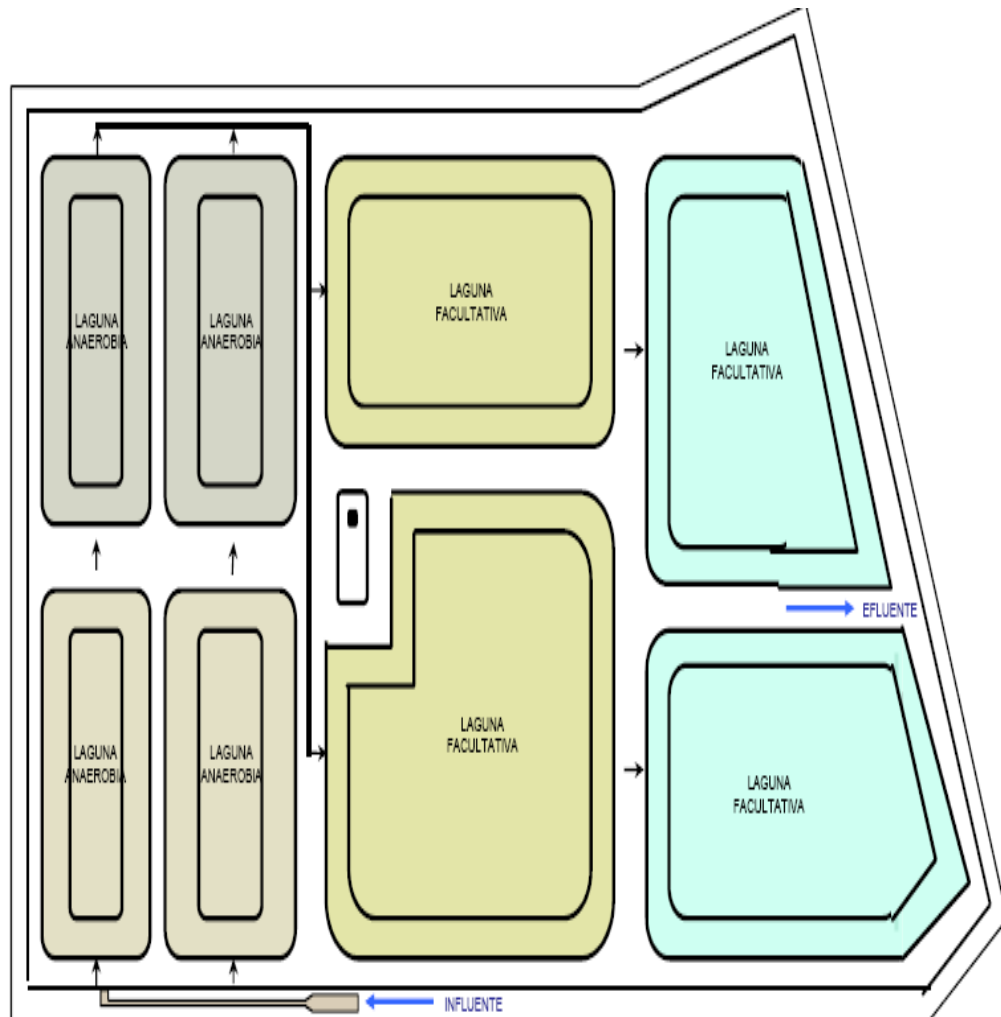
Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación en el estado de Michoacán. (Continúa):

MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DE LA PLANTA	PROCESO	CAPACIDAD INSTALADA (l/s)	CAUDAL TRATADO (l/s)	CUERPO RECEPTOR
Quiroga	Quiroga	Quiroga	RAFA o WABS	20.0	20.0	Lago de Pátzcuaro
Quiroga	Santa Fe de la Laguna	Santa Fe	Humedales (Wetland)	3.0	2.5	Lago de Pátzcuaro
Sahuayo	Sahuayo	Sahuayo	Lagunas de Estabilización	180.0	100.0	Canal Sahuayo para Riego Agrícola
Tzintzuntzan	Cucuchucho	Cucuchucho	Humedales (Wetland)	1.0	0.6	Lago de Pátzcuaro
Uruapan	Uruapan	Uruapan	Lodos Activados	420.0	418.0	Río Santa Bárbara
Zacapu	Zacapu	Zacapu	Lagunas de Estabilización	120.0	90.0	Río Ángulo
Zamora	Zamora de Hidalgo	Zamora	Lagunas de Estabilización	330.0	279.0	Dren "A" Riego Agrícola
Zitácuaro	Heroica Zitácuaro	Zitácuaro	Lodos Activados	267.0	175.0	Río San Juan
Total de Plantas= 25			Total=	3583.0	2793.1	

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Diciembre de 2010.

ANEXO 3: PLANOS

Esquema del proceso de tratamiento de aguas residuales, a base de lagunas de estabilización: Anaerobia, Facultativa y de Maduración.



Propuesta de arreglo del proceso de tratamiento de aguas residuales, mediante un sistema basado en lagunas de estabilización: anaerobia, facultativa y de maduración.

