



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta y diseño de una planta
de tratamiento de agua residual
para la industria tequilera**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Isaac Almazán Ponce

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Antonio García Villanueva



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mis padres,
por ser los mejores maestros en mi vida.*

*A mis hermanos,
por los consejos que me han hecho llegar en donde estoy.*

*A mi sobrina,
por ser mi "pequeña gran revolución".*

*A mis amigos,
por siempre confiar en mí.*

*A mis profesores,
por reformar mi conocimiento y espíritu.*

Contenido

Lista de Figuras.....	5
Lista de Tablas	6
Introducción	8
Capítulo 1. Planteamiento del Problema	10
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 Limitaciones y alcances	11
Capítulo 2. Estado del Arte.....	12
2.1 Breve Historia del Tratamiento del Agua Residual.....	12
2.2 Clasificación del Agua Residual	16
2.3 Características del Agua Residual.....	16
2.3.1 Características físicas.....	18
2.3.2 Características químicas	21
2.3.3 Características biológicas	26
2.4 Componentes de un Tren de Tratamiento de Agua Residual	27
2.4.1 Pretratamiento	28
2.4.2 Tratamiento Primario	35
2.4.3 Tratamiento Secundario.....	38
2.4.4 Tratamiento Avanzado	49
2.4.5 Tratamiento y Disposición de Lodos	54
Capítulo 3. Legislación Nacional.....	56
3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	57
3.2 Ley de Aguas Nacionales	57
3.3 Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)	58
3.4 Ley del Agua para el Estado de Jalisco	59
3.5 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	59
3.5.1 NOM-001-ECOL-1996	59
3.5.2 NOM-002-ECOL-1996	62
3.5.3 NOM-003-ECOL-1997	63
3.6 Normas Mexicanas (NMX).....	64
Capítulo 4. Caso de estudio.....	66
4.1 La Industria Tequilera en México	66

4.2 Proceso de Producción del Tequila	70
4.2.1 Agave	71
4.2.4 Cocimiento	72
4.2.2 Desgarrado del Agave	72
4.2.3 Extracción	73
4.2.5 Fermentación	74
4.2.6 Destilación	75
4.2.7 Filtración.....	75
4.2.8 Añejamiento.....	76
4.2.9 Ensamble y Control de Calidad.....	76
4.3 Problemática Ambiental.....	77
4.3.1 Efectos Sobre el Agua.....	79
4.3.2 Efectos Sobre el Suelo	80
4.3.3 Efectos Sobre la Vegetación.....	82
4.3.4 Efectos Sobre la Fauna y el Hombre.....	83
3.4.5. Plantas de Tratamiento de agua residual en la Industria Tequilera	84
4.4 Caracterización Regional.....	85
4.4.1 Municipio de Tequila, Jalisco.....	86
4.4.2 Geografía	89
4.4.3 Hidrografía.....	89
4.4.4 Clima.....	92
4.4.5 Geología y Suelo	93
4.4.6 Demografía y Sociedad.....	94
4.4.7 Economía.....	96
4.4.8 Medio Ambiente	99
Capítulo 5. Propuesta y Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual para la Industria Tequilera	101
5.1 Rejillas	102
5.2 Desarenador	105
5.3 Canal Parshall	108
5.4 Tanque de igualación	108
5.5 Sedimentador primario	108
5.6 Reactor Aerobio de Flujo Ascendente.....	109

5.7 Reactor Aerobio de Biomasa Suspendida	116
5.8 Sedimentador Secundario	122
Capítulo 6. Resultados y Discusión.....	125
Capítulo 7. Conclusiones	130
Anexo A	132
Referencias.....	140

Lista de Figuras

Figura 2.1 Gran baño, Mohenjo-Daro	12
Figura 2.2 Letrinas romanas	13
Figura 2.3 Fuente de Apolo en el Palacio de Versalles.....	14
Figura 2.4 Planta de tratamiento de agua residual.....	16
Figura 2.5 Clasificación e intervalo de tamaño de las partículas presentes en el agua residual.	19
Figura 2.6 Clasificación de los sólidos presentes en el agua residual de concentración media	19
Figura 2.7 Ciclo del Nitrógeno	24
Figura 2.8 Configuración general del pretratamiento de agua residual	28
Figura 2.9 Desarenadores horizontales.....	31
Figura 2.10 Configuración de un canal Parshall	32
Figura 2.11 Tanque rectangular alargado con rastra para lodo.....	35
Figura 2.12 Tanque sedimentador primario tipo circular con alimentación por el centro.....	36
Figura 2.13 Tanque sedimentador tipo circular con alimentación por el borde	36
Figura 2.14 Trayectoria del efluente y lodos en tanques de sedimentación circulares con alimentación perimetral y alimentación central.....	37
Figura 2.15 Esquema de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	41
Figura 2.16 Diagrama de flujo general de un sistema de lodos activados.....	42
Figura 2.17 Esquema generalizado del proceso biológico en una laguna facultativa	44
Figura 2.18 Sección transversal y sistema de tratamiento con biodiscos.....	46
Figura 2.19 Esquema de la sección transversal de un filtro percolador	47
Figura 2.20 Alternativas básicas para el tratamiento y disposición de lodos	55
Figura 4.1 Cultivo de agave en México.....	67
Figura 4.2 Plantación de agave en Tequila.....	68
Figura 4.3 Obtención de las piñas de agave.....	72
Figura 4.4 Molienda de agave en tahona.....	73
Figura 4.5 Difusor para extracción del jugo del agave	74
Figura 4.6 Alambiques para destilación	75
Figura 4.7 Barricas de añejamiento.....	76
Figura 4.8 Ubicación del Estado de Jalisco en México	87
Figura 4.9 Municipio de Tequila, Jalisco.....	88
Figura 4. 10 Hidrografía superficial del municipio de Tequila, Jalisco	90
Figura 4.11 Ocupación territorial de los acuíferos en el municipio de Tequila, Jalisco (%)	91
Figura 4.12 Disponibilidad de aguas subterráneas en el municipio de Tequila, Jalisco.....	92
Figura 4.13 Uso de suelo en el municipio de Tequila, Jalisco	93
Figura 4.14 Grado de intensidad migratoria por municipio en el estado de Jalisco.....	94
Figura 4.15 Grado porcentual de pobreza multidimensional por municipio en el estado de Jalisco.....	95
Figura 4.16 Grado de marginación por municipio en el estado de Jalisco.....	96
Figura 4.17 Distribución de las unidades económicas en el municipio de Tequila, Jalisco.....	97
Figura 4.18 Valor de la producción agrícola, Tequila 2012-2016 (en miles de pesos).....	98
Figura 4.19 Valor de la producción ganadera, Tequila 2012-20167 (en miles de pesos)	99

Figura 5.1 Diagrama del flujo del tren de tratamiento propuesto.....	101
--	-----

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	17
Tabla 2.2 Organismos patógenos encontrados normalmente en el agua residual	26
Tabla 2.3 Tamaño de apertura de rejas y rejillas	29
Tabla 2.4 Criterios de diseño para desarenadores horizontales.....	31
Tabla 2.5 Criterios de diseño para selección de ancho de garganta para canal Parshall	33
Tabla 2.6 Dimensiones del canal Parshall según el ancho de garganta seleccionado	34
Tabla 2.7 Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria	37
Tabla 2.8 Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento de agua residual	39
Tabla 2.9 Criterios de diseño para filtros percoladores	48
Tabla 2.10 Componentes químicos típicos que pueden encontrarse en el agua residual y sus efectos.....	50
Tabla 2.11 Resumen de tratamiento avanzado para remoción de nitrógeno	51
Tabla 2.12 Resumen de tratamiento avanzado para remoción de fósforo	51
Tabla 2. 13 Tratamientos comunes para la eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria.....	53
Tabla 2.14 Tratamientos comunes para la remoción de sustancias inorgánicas disueltas.	53
Tabla 3.1 Resumen por artículos de la Ley de Aguas Nacionales	58
Tabla 3.2 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.....	60
Tabla 3.3 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros	61
Tabla 3.4 Límites máximos permisibles para descargas en alcantarillado.....	62
Tabla 3.5 Límites máximos permisibles de contaminantes según el tipo de reúso	63
Tabla 3.6 Normas Mexicanas en materia de tratamiento de agua residual	64
Tabla 4.1 Efectos de algunos contaminantes provenientes de la industria tequilera	78
Tabla 4.2 Efectos del exceso de elementos en aguas de riego sobre vegetales.....	82
Tabla 4.3 Características del agua residual proveniente de una industria tequilera.....	86
Tabla 4.4 Aprovechamiento de aguas subterráneas en el municipio de Tequila, Jalisco	92
Tabla 4.5 Cobertura de saneamiento de agua residual municipal en el municipio de Tequila, Jalisco.	100
Tabla 5.1 Consideraciones para el diseño de las operaciones y procesos que conforman el tren de tratamiento	101
Tabla 6.1 Dimensionamiento y características del canal con rejillas	125
Tabla 6.2 Dimensionamiento y características del canal desarenador	125
Tabla 6.3 Dimensionamiento y características del canal Parshall.....	126
Tabla 6.4 Dimensionamiento y características del tanque de igualación.....	126

Tabla 6.5 Dimensionamiento y características del sedimentador primario	126
Tabla 6.6 Dimensionamiento y características del Reactor Anaerobio	127
Tabla 6.7 Dimensionamiento y características del Reactor Aerobio	127
Tabla 6.8 Dimensionamiento y características de los sedimentadores secundarios.....	128

Introducción

Menos del 1% del agua dulce que se encuentra en el planeta puede ser utilizada para consumo humano y ese porcentaje de agua disponible se ve gravemente amenazado año con año. **(CONAGUA, 2018b)**. La escases del líquido se ha agravado en las últimas décadas y la población mundial parece no perder su tendencia al crecimiento descontrolado; aunado a esto, el tratamiento de las aguas residuales no ha sido del todo comprendido por las autoridades de las economías emergentes como las de México, las industrias e incluso la población no está concientizada en que es de suma importancia tratar los residuos líquidos antes de descargarlos y dejar de contaminar las pocas fuentes de abastecimiento de las cuales obtenemos el agua para consumo.

Desde que el hombre sedentario apareció hace más de 10,000 años, dio inicio el problema de tratar sus residuos, los cuáles en un principio eran producto de los procesos naturales del cuerpo y que posteriormente con el crecimiento de los asentamientos humanos, la utilización de productos químicos y la industrialización de los bienes y servicios, se convirtió en un problema sobre todo para tratar el agua residual que generalmente es descargada a los pocos cuerpos de agua dulce disponible. **(We Are Water Foundation, 2017)**

El acceso al agua de calidad y cantidad es un derecho que estipula la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; además, existen leyes y normas que contienen los parámetros que deben cumplir las descargas de agua residual en los diferentes sistemas o cuerpos de descarga, sin embargo a pesar de que tratamos un porcentaje de las aguas municipales procedentes de las ciudades, no es suficiente. La industria, en cualquiera de sus modalidades sigue siendo indiferente en cuanto al tratamiento del agua residual se refiere, siendo que estas contaminan, en algunos casos, mucho más que el agua residual procedente de las ciudades.

La cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, es una de las cuencas más contaminadas de México y pelea por ser una de las más contaminadas a nivel internacional, requiriéndose de forma urgente la intervención inmediata de las industrias que se encuentran principalmente en el cauce de este río, ya que a lo largo de su extensión se encuentran grandes corredores industriales que lo contaminan con las descargas de agua residual provenientes de sus procesos. **(Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental, 2016)**.

La industria que produce tequila, una de las bebidas tradicionales de México se encuentra en gran medida dentro de esta cuenca y en el municipio del Estado de Jalisco que lleva el mismo nombre, esto debido a su *denominación de origen*. Los procesos industriales que se llevan a cabo para su elaboración utilizan grandes cantidades de agua, que finalmente son cargadas de materia orgánica y temperatura (principalmente) y descargadas la mayoría de las veces sin tratamiento, al cauce del río Santiago. **(Seoáñez, M. 2012)**.

El tren de tratamiento que aquí se propone como opción para el tratar el agua residual producto de los procesos que esta industria lleva a cabo, se compone principalmente de

tres grupos. El pretratamiento, diseñando rejillas, desarenador, canal parshall y tanque de igualación; tratamiento primario, compuesto por un sedimentador primario; el tratamiento secundario que incluye un reactor anaerobio de flujo ascendente y un reactor aerobio de lodos activados. Este arreglo garantiza la remoción de los contaminantes para que en la descarga se esté por debajo de los parámetros que estipulan la normativa nacional aplicable a la industria tequilera.

Sin embargo, una de las principales razones de que la industria tequilera no ha optado por las tecnologías para el tratamiento del agua residual que descarga a los ríos, es que la mayoría de estas se encuentra limitada a los altos costos de inversión inicial y de operación de una PTAR. Las pequeñas industrias (que son la mayoría) no ven viable el gasto en tratar el agua residual, pues no genera ninguna mejora en la calidad del producto. Sin embargo, algunas empresas de renombre que elaboran sus productos en este municipio, han comenzado a implementar trenes de tratamiento de agua residual para mejorar la calidad del agua que descargan a la cuenca, sabiendo que de este río (Santiago) muchas personas y otras industrias se abastecen para consumo.

Capítulo 1. Planteamiento del Problema

Según datos de la Comisión Nacional del Agua, sólo el 2.5% de toda el agua que existe en el planeta es dulce; sin embargo, más del 99% de esa agua se encuentra en depósitos glaciares, nieve y hielo o en depósitos subterráneos de difícil acceso, lo que da como resultado que menos del 1% del agua dulce que existe en el planeta pueda ser usada para consumo humano y sus ecosistemas; este pequeño porcentaje de agua, se encuentra principalmente en ríos, lagos y depósitos subterráneos poco profundos y de relativamente fácil acceso siendo sus principales usos en el mundo, el sector agropecuario (69%), sector industrial (19%) y el uso municipal (12%) sin embargo la disponibilidad de agua se ve gravemente amenazada por la sobrepoblación y a su vez por la contaminación de estas escasas fuentes de abastecimiento. **(CONAGUA, 2018b)**

La Organización de las Naciones Unidas reconoció al agua potable y el saneamiento como un derecho humano esencial para la vida en 2010, mientras que México reconoce el derecho humano al agua en el 2012, citado en el artículo cuarto de la Constitución y estableciendo que *toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. (Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental, 2016).*

A pesar de ello, la realidad muestra que el 7.5% de la población en México, es decir más de nueve millones de personas no cuentan con cobertura de acceso a los servicios de agua potable, ya sea mediante tubería, llaves públicas o hidrantes y ni siquiera en una vivienda contigua; esta población sin acceso a este servicio representa a casi toda la población de los estados de Jalisco y Zacatecas en conjunto. **(CONAGUA, 2018a)**

Cada año se reduce la cantidad de agua renovable per cápita en México debido a la contaminación de las fuentes de abastecimiento producto de las descargas de agua residual. **(Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental, 2016).** Millones de metros cúbicos de aguas provenientes de las zonas industriales, municipales y agrícolas tratadas de forma inadecuada o sin tratamiento alguno, son incorporados a los cauces naturales de los ríos. **(Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental, 2016).**

En el año 2010, el 70% de los cuerpos de agua del país presentaban algún indicio de contaminación, además, las cuencas Lerma-Santiago-Pacífico, Balsas y la del Valle de México destacan por sus altos índices de contaminación a nivel nacional. **(CONAGUA, 2018a)**

Sólo de la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, se concesionó en 2017 el mayor volumen de agua extraído de una cuenca registrada hasta ese año y de los cuáles el 61% fue sustraído de fuentes superficiales para uso consuntivo, incluyendo la industria autoabastecida; adicionalmente el 62% del agua residual no municipales, no reciben tratamiento alguno antes de ser descargadas, lo cual repercute directamente en los ecosistemas, en la economía y en el bienestar social, reduciendo así la disponibilidad y sobre todo la calidad

de agua para el aprovechamiento humano; Parte de esta cuenca se encuentra en estado de Jalisco donde, además de tener la segunda Zona Metropolitana más grande de México existe una gran cantidad de Industrias que procesan desde autopartes, aceros y textiles hasta alimentos; en esta región además se encuentra la principal industria productora de Tequila considerada el símbolo de la economía del estado de Jalisco y que representa una oportunidad para mejorar la calidad del agua residual que proviene de los procesos industriales para la obtención sus productos. **(CONAGUA, 2018a)**

El adecuado tratamiento de las aguas residuales de la industria tequilera podría representar el inicio de la disrupción hacía un futuro de escasez y mala calidad de las fuentes de abastecimiento de agua de las cuales otras comunidades hacen uso, logrando así empatizar con ellos y mejorar en gran medida el derecho al acceso a un agua con calidad aceptable, mejorando su entorno y calidad de vida; por lo anterior es indispensable contribuir a la mejora de la calidad del agua del río donde se descarga el agua residual producto de los procesos de la industria tequilera, es por esto que se plantean los siguientes objetivos. **(We Are Water Foundation, 2017).**

1.1 Objetivo General

Proponer y seleccionar el diseño de una planta de tratamiento de agua residual proveniente de la industria tequilera, considerando la caracterización del agua residual, así como la normativa vigente nacional.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica de la problemática ambiental de la industria tequilera en México, considerando la bibliografía disponible.
2. Analizar y sistematizar la información disponible de la situación actual de la industria tequilera y sus afectaciones al medio ambiente.
3. Revisar la normatividad nacional en materia de agua residual proveniente de este sector industrial para conocer el estado actual legislativo.
4. Conocer el proceso productivo de la industria tequilera para proponer un correcto diseño

1.3 Limitaciones y alcances

- Se considerará como caso de estudio académico, una industria tequilera.
- Se apegará el uso del agua tratada a la normatividad nacional.

Capítulo 2. Estado del Arte

El agua residual es aquella agua de desecho que ha sido empleada en alguna actividad humana, ya sea doméstica, industrial, agrícola, pecuaria o recreativa y que por este hecho ha sido contaminada y por lo tanto ha cambiado sus características físicas, químicas, biológicas y organolépticas; por lo que el agua residual puede ser también la combinación de los residuos líquidos de diferente procedencia, por ejemplo, las que fueron utilizadas en un sector residencial, público, de servicios, industriales e incluso pluviales. **(Seoáñez, M. 2012).**

2.1 Breve Historia del Tratamiento del Agua Residual

Desde el surgimiento de las primeras culturas en el mundo, el hombre ha cargado con un atributo inherente a él: el agua residual, un desecho humano que continúa siendo un grave problema en la actualidad. **(We Are Water Foundation, 2017)**

Antes del Neolítico, el ser humano siendo cazador- recolector vivía en un mundo renovable donde los asentamientos humanos sólo se encontraban en lugares donde hubiera fuentes de agua cercana y los desechos generados por los humanos tanto los producidos por su naturaleza, así como los restos de alimentos, eran reintegrados al ciclo natural del ecosistema; sin embargo, esto empezó a cambiar cuando el ser humano se convirtió en productor y comerciante durante el periodo Neolítico, aproximadamente en el año 8,500 a.C.; los procesos productivos y comerciales concentraron a la población y la hicieron sedentaria, para que después de un tiempo dieran lugar a las primeras civilizaciones con alta densidad demográfica, poderes políticos, producción artesanal, desechos y descargas considerables de agua residual. **(We Are Water Foundation, 2017)**

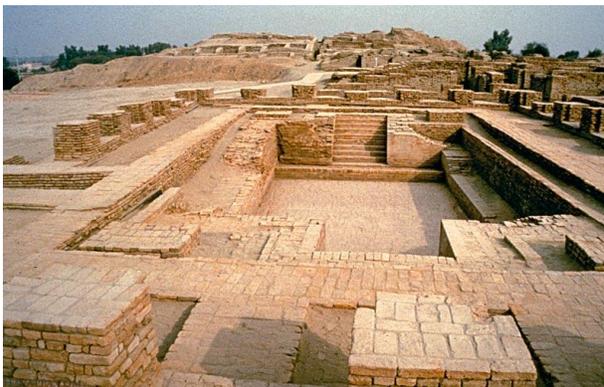


Figura 2.1 Gran baño, Mohenjo-Daro

(Kenoyer, 2019)

A Babilonia, se le atribuye la primera instalación para saneamiento alrededor del 4,000 a.C. donde se realizaron excavaciones en el suelo para concentrar el excremento y que pronto se volvió popular en otras ciudades del imperio. **(We Are Water Foundation, 2017).** Los babilonios entonces, ya habían desarrollado ingeniería hidráulica para el transporte de agua a sus ciudades y que fueron aplicadas después a la conducción de heces a los pozos negros mediante baldeo, donde además implementaron las

primeras tuberías de arcilla. **(We Are Water Foundation, 2017).**

Fue hasta el 3,000 a.C. en la ciudad de Mohenjo-Daro (actual Pakistán) donde se construyeron los primeros edificios con letrinas conectadas a alcantarillas en las calles,

como lo muestra la figura 2.1. **(We Are Water Foundation, 2017)**. Así, los ciudadanos baldeaban con agua sus letrinas y las alcantarillas recogían el agua negra, transportándola hacia los pozos ciegos o al río Indo; sin embargo, con el crecimiento de las ciudades y la producción de alimentos, la problemática de la descarga de aguas negras dio un salto en su complejidad, pues ahora se estaban contaminando los cursos de los ríos de donde muy probablemente otras zonas se abastecían para su consumo. **(We Are Water Foundation, 2017)**.

En la antigua Grecia, ante la poca presencia de ríos caudalosos, se optó en algunas ciudades que el alcantarillado llevara las aguas negras a las afueras de las ciudades, transportarlas hacia un vertedor para después conducirla hacia los campos de cultivo. **(We Are Water Foundation, 2017)**.

Fue entonces cuando el Imperio Romano revolucionó el conocimiento que se tenía sobre el saneamiento, incluyendo normas para separar las aguas grises de las negras mediante el alcantarillado; las aguas grises que provenía de los baños y termas eran reutilizadas para baldear las letrinas públicas que fueron muy populares como centro de reunión social (figura 2.2), además se rediseñaron las letrinas comunes por letrinas de asiento. **(We Are Water Foundation, 2017)**.



Figura 2.2 Letrinas romanas

(Ramos, 2012)

En la época de los romanos, el concepto de higiene estaba muy alejado de lo que hoy en día conocemos, incluso ni siquiera se preocupaban de la desinfección de sus agua residual y únicamente la población las evitaba por su mal olor y finalmente se descargaban en el río Tíber. **(We Are Water Foundation, 2017)**.

Durante la Edad Media prácticamente se olvidaron de los avances romanos respecto al saneamiento; en pocas ciudades como París, se conservaron algunas estructuras de alcantarillado romano que pronto fueron superadas por el crecimiento urbano desordenado; otras ciudades construyeron pozos ciegos que igualmente fueron superados muy pronto y que eran la única estructura de saneamiento con la que contaban, volviendo a la antigua práctica de arrojar los desechos a la calle o a las afueras de las ciudades; las plagas prosperaron y desencadenaron epidemias de cólera y peste que causaron la muerte del 25% de la población medieval europea; no obstante, no se realizaron avances en temas de saneamiento. **(We Are Water Foundation, 2017)**. La norma de higiene mayor, se practicaba en las zonas rurales donde los campesinos enterraban sus heces en un agujero en la tierra. **(We Are Water Foundation, 2017)**.

En la época del oscurantismo en Europa, sólo las ciudades árabes de la península ibérica instauraron normas de saneamiento con el fin de mantener separados los tres tipos de agua residual: las pluviales, las grises y las negras. **(We Are Water Foundation, 2017)**. Los árabes, nacidos en un clima extremo, valoraban el agua de lluvia, la captaban y la conducían hacia almacenamientos subterráneos para su posterior uso; las aguas grises se descargaban por conducciones subterráneas o superficiales mientras que las aguas negras corrían por una conducción independiente hacía los pozos ciegos donde se mezclaban con otra agua residual. **(We Are Water Foundation, 2017)**.

Durante el renacimiento, surgieron nuevos avances en ciencia, tecnología y artes, sin embargo, los avances para el saneamiento se quedaron estancados mientras que la concentración de la población en las ciudades agravaba aún más el problema; los avances en hidráulica se aplicaron para la captación y distribución del agua, pero no para la descarga del agua residual. **(We Are Water Foundation, 2017)**.

En la ciudad de París en el siglo XVII se alcanzaban los niveles más altos de suciedad de su historia, mientras que en el Palacio de Versalles se crearon las fuentes más bellas, estanques y canales para Luis XIV, como la fuente de Apolo, mostrada en la figura 2.3. **(We Are Water Foundation, 2017)**. Londres se encontraba en la misma situación que París, aunque ya había iniciado con severas normas higiénicas para la



Figura 2.3 Fuente de Apolo en el Palacio de Versalles

limpieza de alcantarillas dictadas por Enrique VIII; en las casas más acomodadas de la capital, aparecieron los precursores de los inodoros modernos, un invento logrado por John

Harrington (1561-1612), que utilizaba agua de un depósito para baldear la letrina y llevar los desechos al pozo ciego y cuya finalidad no era desalojar las aguas negras de las casas sino eliminar el olor desagradable de los orinales pues aún no se tenía clara la estrecha relación entre la suciedad y la enfermedad hasta el siglo XIX. **(We Are Water Foundation, 2017).**

Hacia 1830, la situación en Londres se volvió insostenible; la ciudad además de despedir un hedor insoportable, se sumaron varias epidemias de cólera; una de ellas en 1847. **(We Are Water Foundation, 2017).** El médico inglés John Snow (1813-1858), se convenció de que el cólera era causado por el agua potable contaminada por materia fecal y poco después Louis Pasteur (1822-1895), corroboró la teoría de Snow: los microorganismos presentes en el agua contaminada con materia fecal, desencadena enfermedades infecciosas como el cólera y la fiebre tifoidea. **(We Are Water Foundation, 2017).**

A partir del siglo XIX, las leyes de diversos países impusieron limitaciones a la construcción de pozos ciegos y fueron restringidos a zonas sin alcantarillado y convertidos en fosas sépticas mucho más seguras. **(We Are Water Foundation, 2017).**

Fue hasta finales del siglo XIX comenzaron a utilizarse avances en microbiología para tratar el agua residual y en 1914 los ingenieros Edward Arden y William T. Lockett, descubrieron los lodos activos, el sistema de tratamiento biológico para la depuración de la contaminación orgánica del agua residual y que actualmente se siguen utilizando en las plantas de tratamiento de aguas de las grandes ciudades. **(We Are Water Foundation, 2017).**

Sin embargo, la revolución industrial conllevó a otro problema grave del agua: la contaminación química, que se sumó a la problemática del agua residual doméstica; además, el avance en tecnologías para el aprovechamiento de los cultivos, plaguicidas, y el acelerado crecimiento de la necesidad alimenticia en el mundo, ha agravado el problema con el agua residual proveniente de la industria agrícola. **(We Are Water Foundation, 2017).** De esta forma cuando por fin se lograron avances en el tratamiento del agua residual por contaminación orgánica, la industria y el campo comenzó a contaminar los ríos, suelos y mares con productos que más tarde se descubriría su toxicidad: metales pesados, pesticidas, nitratos, etc. **(We Are Water Foundation, 2017).**

En la década de 1970, se comenzó en el mundo una gran reacción internacional para combatir la contaminación del agua, tanto por la industria como la proveniente de los hogares; hoy en día se calcula que en países en vías de desarrollo el 90% del agua residual es descargada sin tratamiento alguno. Según la Organización Mundial de la Salud, cada año mueren 1.8 millones de niños menores de cinco años por esta causa, es decir que muere un niño cada veinte segundos. **(We Are Water Foundation, 2017).**

Actualmente existen métodos de tratamiento tanto físicos como químicos, los primeros definidos como operaciones unitarias y los segundos como procesos unitarios; las

operaciones y procesos unitarios se agrupan para constituir lo que se conoce como tratamiento primario, secundario y terciario (o avanzado); la figura 2.4 muestra la vista aérea del arreglo de un tren de tratamiento del agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995)**



Figura 2.4 Planta de tratamiento de agua residual

(Ochoa, D., 2016)

2.2 Clasificación del Agua Residual

Las aguas residuales, se clasifican en tres grupos de acuerdo a la fuente de origen y estas pueden ser:

- Domésticas: son todas aquellas que provienen de las viviendas y/o servicios y son generadas por las actividades usuales como el uso de sanitarios, lavado de trastes y ropa, aseo general etcétera. Se caracterizan por contener gran cantidad de materia orgánica. **(Díaz, J. 2014).**
- Industriales: son aquellas que son vertidas o desechadas por instituciones o establecimientos que desempeñan una actividad comercial o industrial, generalmente contienen químicos y en algunos casos sustancias tóxicas. **(Díaz, J. 2014).**
- Urbanas: que son la que provienen de la mezcla del agua residual domésticas junto con el agua pluvial e incluso de la industria. **(Díaz, J., 2014).**

2.3 Características del Agua Residual

Es de gran importancia conocer el origen del agua residual para poder realizar un correcto diseño de las instalaciones de llegada, tratamiento y evacuación de estas aguas y así, cumplir con la gestión de calidad del medio ambiente; las propiedades del agua residual se resumen en tres grupos: propiedades físicas, químicas y biológicas: en la tabla 2.1 se

presentan las características de cada propiedad, así como su procedencia. (Metcalf & Eddy, 1997).

Tabla 2.1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

	Característica	Procedencia
Propiedades Físicas	Sólidos	Agua de suministro, agua residual domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
	Color	Agua residual doméstica e industriales, desintegración natural de materia orgánica
	Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales
	Temperatura	Agua residual doméstica e industrial
Constituyentes Químicos (Orgánicos)	Carbohidratos	Agua residual, comercial e industrial
	Grasas animales, aceite y grasa	Agua residual doméstica, comercial e industrial
	Pesticidas	Residuos agrícolas
	Fenoles	Vertidos Industriales
	Proteínas	Agua residual doméstica y comercial
	Agentes tensoactivos	Agua residual doméstica e industrial
	Otros	Desintegración natural de materiales orgánicos
Constituyentes Químicos (Inorgánicos)	Alcalinidad	Agua residual domésticas, agua de suministro, infiltración del agua subterránea
	Cloruros	Agua de suministro, agua residual doméstica, infiltración del agua subterránea, ablandadores de agua
	Metales pesados	Vertidos industriales
	Nitrógeno	Agua residual doméstica y residuos agrícolas
	pH	Vertidos industriales
	Fósforo	Agua residual doméstica e industrial, escorrentía residual
	Azufre	Aguas de suministro, agua residual doméstica e industrial
	Compuestos tóxicos	Vertidos industriales
Constituyentes Químicos (Gases)	Sulfuro de hidrógeno	Descomposición del agua residual doméstica
	Metano	Descomposición de agua residual doméstica
	Oxígeno	Agua de suministro, infiltración del agua superficial

Continuación tabla 2.1

	Característica	Procedencia
Constituyentes Biológicos	Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
	Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
	Protistas	Agua residual doméstica y plantas de tratamiento
	Virus	Agua residual doméstica

(Metcalf & Eddy, 1995)

2.3.1 Características físicas

La característica física más importante del agua residual es su contenido de sólidos, la cual está compuesta por materia flotante y materia en suspensión, dispersión coloidal y en disolución; además de tomar en cuenta su temperatura, color y olor. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Sólidos Totales

El contenido de sólidos totales de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105 °C; los sólidos totales o residuos de evaporación pueden clasificarse como sólidos suspendidos (no filtrables) y sólidos filtrables ya que se hace pasar un volumen de líquido conocido por un filtro, generalmente con diámetro de sólidos de 1 μm ; la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo del recipiente en forma de cono (cono Imhoff). **(Metcalf & Eddy, 1995).** Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodos que se eliminará mediante la sedimentación y, a su vez, los sólidos filtrables se componen de sólidos coloidales y disueltos; los primeros consisten en partículas de diámetro aproximado entre 10^{-3} y 1 μm y no pueden ser eliminados por sedimentación, mientras que los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas y iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en agua. **(Metcalf & Eddy, 1995).** La figura 2.5 muestra la clasificación e intervalo de tamaño de partículas presentes en el agua residual y la figura 2.6 muestra la clasificación de los sólidos presentes en el agua residual de concentración media. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

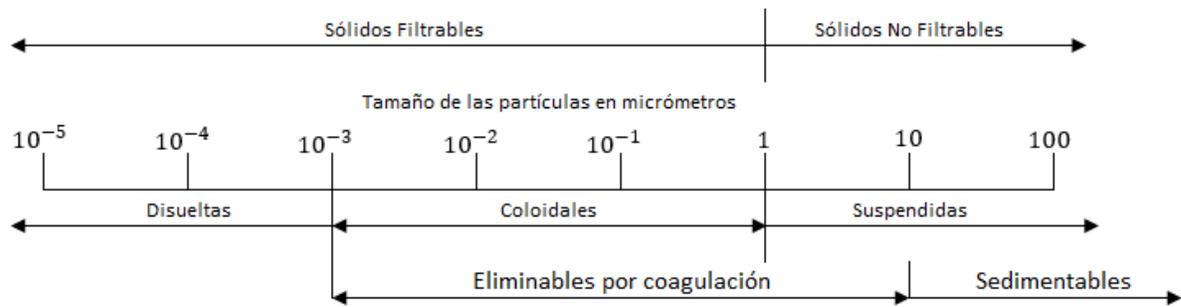


Figura 2.5 Clasificación e intervalo de tamaño de las partículas presentes en el agua residual.

(Adaptado de Metcalf & Eddy, 1995)

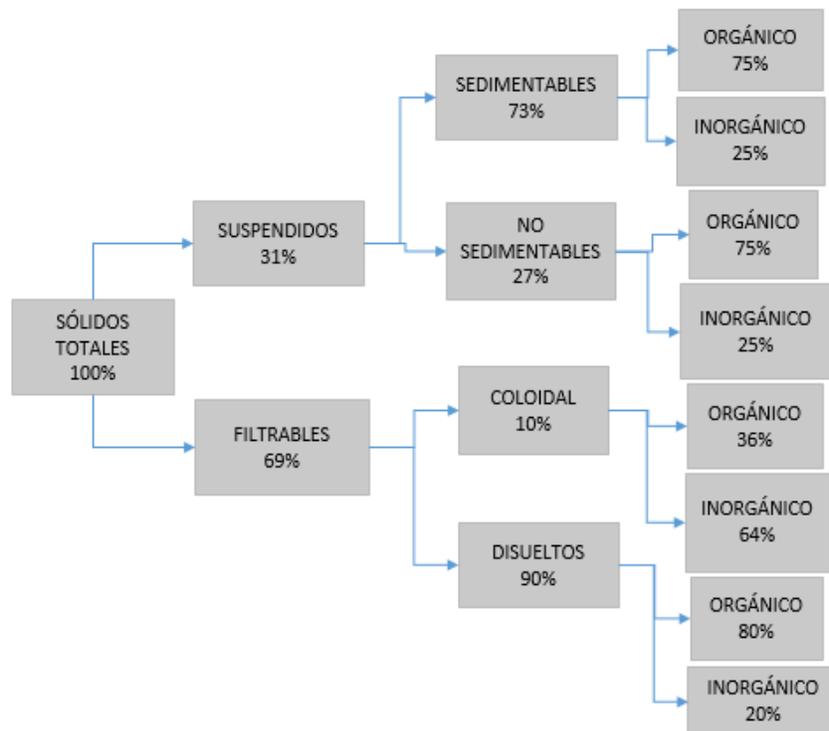


Figura 2.6 Clasificación de los sólidos presentes en el agua residual de concentración media

(Adaptado de Metcalf & Eddy, 1995)

Olor

Generalmente, los olores son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica; el agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable pero el olor característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrógeno, producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos, además las aguas industriales contienen a veces compuestos olorosos, o compuestos capaces de producir olores en el proceso de tratamiento. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Se estima que el olor constituye el principal motivo de rechazo del público en relación con la implantación de instalaciones de tratamiento de agua residual, es por eso que en los últimos años, la eliminación de olores ha tenido gran consideración en el proyecto y operación del tren de tratamiento del agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Temperatura

La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del agua de suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de los domicilios, así como de las actividades industriales; según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10°C a 21°C, siendo 15°C un valor representativo. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

La temperatura del agua residual es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, así como en reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles. **(Seoáñez, M. 2012).** Un aumento en la temperatura del agua donde se descargue agua residual, puede provocar cambios en las especies piscícolas, además existen industrias que utilizan aguas superficiales para refrigeración, por lo tanto, les interesa la temperatura del agua de captación; por otro lado, el oxígeno es más soluble en agua caliente que en agua fría aunado al aumento de la velocidad de las reacciones químicas por el aumento de la temperatura y la disminución de oxígeno presente en el agua, puede causar graves agotamientos de oxígeno disuelto sobre todo en los meses de verano. **(Seoáñez, M. 2012)**

Lo efectos de verter agua residual con temperatura alta supone efectos aumentados cuando se vierten cantidades suficientemente grandes a los cuerpos naturales de agua, que son receptoras del agua residual donde un cambio repentino de la temperatura en los cuerpos de agua, puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de la vida acuática, así como provocar crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos. **(Seoáñez, M. 2012)**

Color

Es una característica cualitativa del agua residual, su color reciente suele ser gris, sin embargo, a lo largo de la trayectoria hacia la planta de tratamiento, los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto se reduce a cero y el color cambia a negro y es, cuando en esta condición se dice que el agua residual es séptica

e incluso en algún agua residual industrial añaden color al agua que utilizan en los procesos dentro de la industria. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

2.3.2 Características químicas

Se trata de la materia tanto orgánica como inorgánica, así como los gases disueltos que se encuentran en el agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Materia Orgánica

En un agua residual de concentración media, un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica y proceden del reino animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos; estos compuestos orgánicos están formados generalmente por la combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno, azufre, fósforo y hierro en algunos casos, donde los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en un agua residual son las proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasas y aceites (10%). **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Además de los principales componentes orgánicos presentes en el agua residual, también contiene pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas utilizados en la agricultura. **(Metcalf & Eddy, 1995).** Estos compuestos han representado un grave problema en los últimos años, pues se ha notado un incremento considerable en las concentraciones de estos compuestos de moléculas sintéticas, complicando el tratamiento del agua residual ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente o bien, lo hacen muy lentamente. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Proteínas

Son los principales componentes del organismo animal y en las plantas se encuentran, pero en menor grado; todos los alimentos crudos de origen animal y vegetal contienen proteínas que tienen una estructura química compleja e inestable, algunas son solubles en agua y otras tantas no y, además, todas contienen carbono, oxígeno e hidrógeno y junto con la urea son las principales fuentes de nitrógeno en el agua residual; cuando están presentes en grandes cantidades, generalmente producen olores extremadamente desagradables debido a su descomposición. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Carbohidratos

Los carbohidratos incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, y todos ellos se encuentran en el agua residual; sin embargo algunos carbohidratos como los azúcares son solubles en agua, aunque existen algunos insolubles en agua como los almidones. **(Metcalf & Eddy, 1995).** Los azúcares en su descomposición producen alcohol y dióxido de carbono; los almidones por su lado, son más estables, pero se transforman en azúcares por la actividad microbiana que, desde el punto de vista de volumen y resistencia a la descomposición, la celulosa es el carbohidrato más importante que se encuentra en el agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Grasas animales, aceites y grasas

Las grasas animales y los aceites son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos; así, las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. **(Metcalf & Eddy, 1995)**. Además, aceites, lubricantes y otros materiales procedentes del petróleo, pueden llegar mediante las alcantarillas a las plantas de tratamiento de agua residual que en su mayoría flotan sobre el agua residual, sin embargo, parte de ellos son llevados a los lodos por los sólidos sedimentables y tienden a recubrir las superficies, interfiriendo con la acción biológica y finalmente causando problemas de mantenimiento. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Agentes tensoactivos

Son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua que causan espumas en las plantas de tratamiento, así como en las aguas en las que se vierte el efluente residual donde tienden a acumularse en la interfase agua-aire y durante la aireación del agua residual se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire, causando por ello una espuma muy estable y generalmente, estos agentes tensoactivos se encuentran en detergentes sintéticos que no son biodegradables. **(Metcalf & Eddy, 1995)**. También se les llama SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno), pues su presencia se determina midiendo el cambio de color en una solución normalizada de azul de metileno. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Fenoles

Los fenoles causan problemas de sabor en el agua, especialmente cuando está clorada y se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en el agua residual que contienen dichos residuos industriales; sin embargo, los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones de hasta 500 mg/L. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Pesticidas y productos químicos agrícolas

Los compuestos orgánicos como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, son tóxicos para un gran número de formas de vida y por lo tanto son extremadamente peligrosos encontrarlos en las aguas superficiales; estos compuestos no son constituyentes del agua residual, sino que suelen incorporarse como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas o tierras abandonadas y si la concentración de estos contaminantes es alta, puede provocar la muerte de peces o contaminación de la carne de pescado que se traduce en impactos económicos y sobretodo el empeoramiento de fuentes de abastecimiento de agua potable. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Materia Inorgánica

Las concentraciones de materia inorgánica en el agua aumentan por la formación geológica con la que el agua entra en contacto, así como por el agua residual tratada o sin tratar que se descarga a ella; el agua residual es raramente tratada para la eliminación de los contaminantes inorgánicos que se añaden en el ciclo de utilización. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

pH

La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad del agua residual, pues el intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida es muy estrecho y crítico; por lo tanto el agua residual con un pH fuera del estándar es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede modificar la concentración de las aguas naturales. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Cloruros

Los cloruros que se encuentran en el agua residual generalmente provienen de la disolución de los suelos y rocas que lo contienen, en regiones costeras por la intrusión del agua salada, las descargas de aguas domésticas, agrícolas e industriales. Los métodos convencionales de tratamiento no eliminan los cloruros en cantidades significativas, sin embargo, cuando las concentraciones de cloro son superiores a las normales se interpreta que la masa de agua se utiliza para el vertido del agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Alcalinidad

La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. El agua residual es generalmente alcalina, pues recibe su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Nitrógeno

Los elementos como el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas y como tales, son conocidos como nutrientes o bioestimulantes. **(Metcalf & Eddy, 1995).** Puesto que el nitrógeno es básico para la síntesis de proteínas es necesario conocer los datos sobre sus concentraciones para valorar la tratabilidad del agua residual industrial y doméstica mediante procesos biológicos; cuando el contenido de nitrógeno es insuficiente, se necesitará adicionarlo para que sea tratable el agua residual y si se quiere controlar el crecimiento de algas en el cuerpo de agua receptor, conviene la eliminación o reducción del nitrógeno antes de la evacuación, pues el nitrógeno en el agua residual durante su ciclo se puede encontrar en forma de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitritos y nitratos como lo muestra la figura 2.7. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

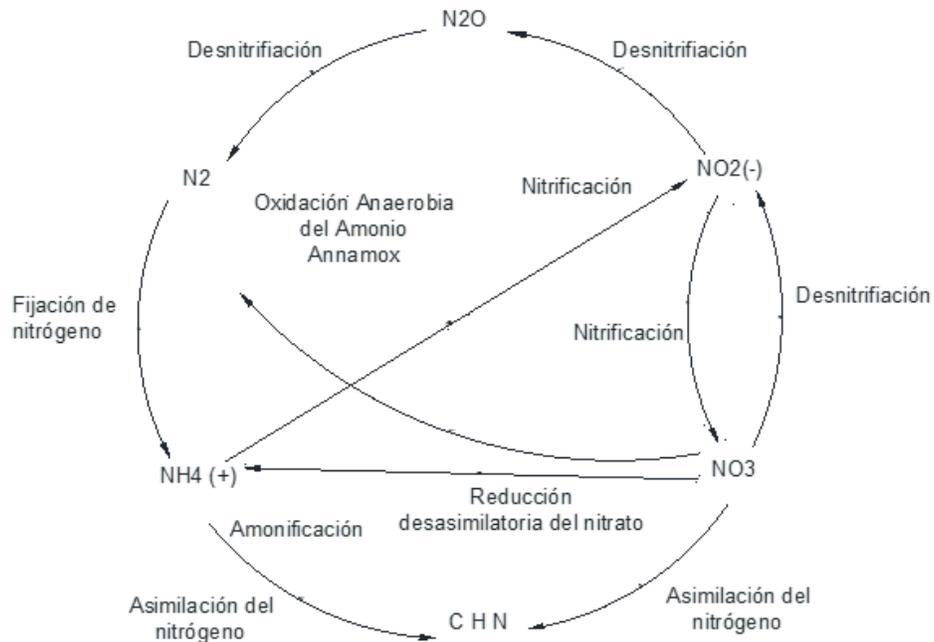


Figura 2.7 Ciclo del Nitrógeno

(Sánchez, J. & Sanabria, J., 2009)

Fósforo

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos y debido al crecimiento incontrolado de algas que tienen lugar en los cuerpos de agua receptores de aguas provenientes de la planta de tratamiento, existe mucho interés en controlar la cantidad de compuestos de fósforo que entran a las aguas superficiales provenientes de los vertidos industriales y domésticos: los compuestos que contienen fósforo son constituyentes importantes en las descargas industriales y lodos provenientes del tratamiento del agua residual doméstica. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Azufre

El ion sulfato se presenta naturalmente en la mayoría de los suministros de agua y también en el agua residual; es requerido en la síntesis de proteínas y es liberado en su degradación: los sulfatos son reducidos a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno por las bacterias en condiciones anaerobias y a su vez, los sulfuros de hidrógeno pueden ser oxidados biológicamente a ácido sulfúrico, el cual es corrosivo para las tuberías de alcantarillado. También los sulfatos son reducidos a sulfuros en los biodigestores. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Compuestos Tóxicos

El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro son tóxicos en distintos grados para los microorganismos y por lo tanto deben considerarse al proyectar una planta de tratamiento biológico; así mismo, algunos aniones tóxicos como los cianuros y cromatos están presentes

en los vertidos industriales y deben ser eliminados mediante pretratamientos adecuados en vez de mezclarlos con otra agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995)**. El ion fluoruro también tóxico, y algunos otros compuestos orgánicos se encuentran usualmente en los vertidos industriales. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Metales Pesados

Muchos metales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio son importantes constituyentes del agua residual, sobre todo las aguas que provienen de las industrias y, aunque algunos son necesarios para la vida y en cantidades insuficientes, otras veces son un limitante del crecimiento de algas, la presencia de cualquier metal mencionado en cantidades excesivas interferirá con muchos usos del agua tratada debido a su toxicidad y por lo tanto se debe medir y controlar las concentraciones de dichos metales. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Gases

Los gases más frecuentemente encontrados en el agua residual sin tratar son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano; los primeros tres se encuentran comunes en la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas a esta, sin embargo, los tres últimos provienen de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Oxígeno Disuelto

Es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida; la presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable porque evita la formación de olores desagradables, así como para las reacciones bioquímicas. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Sulfuro de Hidrógeno

Se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfitos minerales, y no se forma en presencia de gran cantidad de oxígeno; es un gas incoloro, inflamable y tiene un olor característico a huevos podridos. **(Metcalf & Eddy, 1995)**. El ennegrecimiento del agua residual y de los lodos se debe generalmente a la formación del sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro y forman sulfuro ferroso. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Metano

Es el principal subproducto que se obtiene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual y es un hidrocarburo incoloro e inodoro de gran valor como combustible; normalmente no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, sin embargo, a veces se produce metano como resultado de una descomposición anaerobia en depósitos acumulados en el fondo de los reactores. **(Metcalf & Eddy, 1995)**. Es de gran importancia considerar la presencia de este gas, pues al ser inflamable se requiere equipo e instalaciones necesarias para la evacuación de este, así como considerar las medidas de

seguridad necesarias para la operación y mantenimiento de las instalaciones. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

2.3.3 Características biológicas

Microorganismos

Todas las formas de microorganismos se pueden encontrar en el agua residual e incluye a las bacterias, virus, protozoarios y helmintos; las bacterias son el grupo de organismos más importante que se debe de estudiar para el conocimiento de la funcionalidad e importancia para una correcta implementación de un tren de tratamiento para agua residual, independiente de su origen; la tabla 2.2 presentan los organismos patógenos normalmente encontrados en el agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Tabla 2.2 Organismos patógenos encontrados normalmente en el agua residual

Organismo	Enfermedad	Observaciones
<i>Ascaris spp., Enterobius spp.</i>	Nematodos	Peligrosos para el hombre; proceden de efluentes de agua residual, lodos secados y utilizados como fertilizantes
<i>Bacillus anthracis</i>	Antrax	Se encuentra en el agua residual. Las esporas son resistentes al tratamiento
<i>Brucella spp.</i>	Brucelosis. (fiebre de malta, aborto contagioso en ovejas, cabras y ganado vacuno)	Normalmente transmitida por leche infectada o por contacto. El agua residual es sospechosa
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disentería	Propagada por aguas contaminadas y lodos utilizados como fertilizante. Común en climas cálidos
<i>Leptospira iceterohaemorrhagiae</i>	Leptospirosis (enfermedad de Weil)	Ratas de alcantarilla son las portadoras
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculosis	Aislada en agua residual y ríos contaminados
<i>Salmonella paratyphi</i>	Fiebre paratifoidea	Común en agua residual
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Común en agua residual
<i>Salmonella spp.</i>	Envenenamiento de la comida	Común en agua residual y efluentes industriales
<i>Schistosoma spp.</i>	Esquistosomiasis	Probablemente eliminada por un tratamiento efectivo del agua residual
<i>Shigella spp.</i>	Disentería bacilar	Aguas contaminadas
<i>Taenia spp.</i>	Solitaria	Presentes en lodos y efluentes de agua residual. Peligroso para el ganado vacuno, existente en tierras regadas o abonadas con lodos

(Metcalf & Eddy, 1995)

Continuación tabla 2.2

Organismo	Enfermedad	Observaciones
Vibrio cholerae	Cólera	Transmitida por el agua residual y por aguas contaminadas
Virus	Poliomielitis, hepatitis	Se encuentra en efluentes procedentes de plantas de tratamiento biológico de agua residual

(Metcalf & Eddy, 1995)

Organismos Patógenos

Los organismos patógenos encontrados en el agua residual pueden proceder de desechos humanos infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. **(Metcalf & Eddy, 1995)**. Los organismos patógenos bacterianos usuales que son excretados por el hombre, causan enfermedades gastrointestinales, fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, diarrea y cólera; dado que son organismos altamente infecciosos, son los responsables de miles de muertos cada año en zonas con escasa sanidad o en países en vías de desarrollo. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

Organismos coliformes

Son bacterias en forma de bastoncillo que se encuentran en el tracto intestinal del ser humano; cada persona evacua de 100,000 a 400,000 millones de organismos coliformes por día; dado que son los más numerosos y de determinación más sencilla, se utilizan como indicador de contaminación en el agua residual; su presencia indica que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades. **(Metcalf & Eddy, 1995)**.

2.4 Componentes de un Tren de Tratamiento de Agua Residual

La humanidad ha optado por traducir los procesos naturales de limpieza o tratamiento del agua a una escala micro, pero con una rapidez superior y efectividad considerablemente buena; las plantas de tratamiento han sido nuestras aliadas en la correcta disposición de nuestra agua después de darle un uso, incluso aplicando tecnologías para la remoción de contaminantes específicos que a la naturaleza le cuesta mucho tiempo para remover. El agua residual puede ser tratada con uno o una serie de combinaciones de los diferentes tipos de métodos de tratamiento, que dependerán de la naturaleza de los contaminantes que se desean remover y del nivel de remoción que se quiera alcanzar para cierto tipo de contaminante, estos tratamientos se pueden clasificar en tres tipos. **(César E. & Vázquez A., 2001)**

- Tratamientos físicos. Los tratamientos físicos involucran la remoción de contaminantes de agua residual con fenómenos físicos básicos como la

sedimentación, filtración o cribado. Estos tratamientos se encargan de remover sólidos suspendidos. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

- Tratamientos químicos. Los tratamientos químicos involucran la adición de sustancias químicas para conversión o destrucción de contaminantes a través de reacciones químicas como la coagulación- floculación para la remoción de sólidos, desinfección para la remoción de patógenos o la precipitación química para la remoción de fósforo. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Tratamientos biológicos. Los tratamientos biológicos involucran la conversión o destrucción de contaminantes con ayuda de microorganismos como el proceso de lodos activados, biorreactores de membrana, filtros percoladores entre otros. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Las plantas de tratamiento para agua residual se diseñan bajo el criterio de la calidad del efluente que se requiere, es decir para el uso o el fin que se le dará al agua tratada después de pasar por el tren de tratamiento de la planta; los procesos que ocurren dentro de la planta de tratamiento van de lo más simple a lo más complejo y se pueden resumir en los siguientes procesos. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

2.4.1 Pretratamiento

Se prepara el afluente mediante la reducción o eliminación de características específicas del agua residual que, de otra manera, podrían impedir el funcionamiento o incrementar el costo de mantenimiento de los procesos y equipos de las unidades siguientes al pretratamiento; se busca acondicionar el agua residual, para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. **(CONAGUA, 2016a).** Incluye equipos tales como rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores; en la figura 2.8, se presenta la configuración común de un tren de pretratamiento de agua residual. **(CONAGUA, 2016a).**

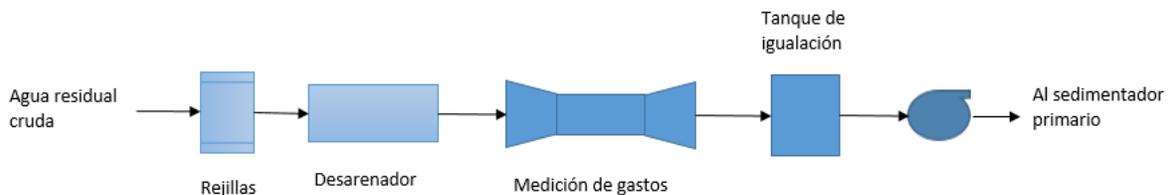


Figura 2.8 Configuración general del pretratamiento de agua residual

(César, E. & Vázquez, A., 2001)

Rejillas

Las rejillas remueven los contaminantes gruesos procedentes de la corriente para proteger de posibles daños a la operación y al equipo de las unidades siguientes; las rejillas gruesas son utilizadas normalmente como primera operación unitaria del tren de tratamiento pues quita sólidos y basura que podrían dañar o interferir con las bombas, válvulas, aireadores o filtros biológicos. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Las rejillas consisten en barras de acero verticales o inclinadas, espaciadas a intervalos iguales a través de un canal por el que fluye el agua residual y se utilizan criterios de cálculo para el diseño del tamaño de la barra, el espaciado y el ángulo desde la vertical, además del ancho del cauce y la velocidad de aproximación del agua residual; las rejillas gruesas más comúnmente se limpian mecánicamente; la tabla 2.3 muestra los rangos comunes y los criterios de diseño más utilizados. **(CONAGUA, 2016a).**

Tabla 2.3 Tamaño de apertura de rejas y rejillas

Concepto	Rango	Comentarios
Apertura de rejas retenedoras de basura	38 - 150 mm	Se usa frecuentemente en combinación con otros sistemas, el tamaño de las aperturas depende del equipo
Apertura de rejillas manuales	25 - 50 mm	Se usan en plantas pequeñas o en canales bypass
Velocidad de aproximación	0.30 - 0.60 m/s	
Rejillas de limpieza mecánica	6 - 38 mm	La apertura de 18 mm se considera satisfactoria para la protección de los equipos de los procesos siguientes
Velocidad de aproximación máxima	0.60 - 1.20 m/s	
Velocidad de aproximación mínima	0.30 - 0.60 m/s	Velocidad necesaria para evitar la acumulación de arenas
Rejillas continuas	6 - 38 mm	Este tipo de rejilla es conveniente con aperturas de 6 a 18 mm
Velocidad de aproximación máxima	0.30 - 1.20 m/s	
Velocidad de aproximación mínima	0.30 - 0.60 m/s	
Pérdida de carga admisible	0.15 - 0.60 m	
Triturador (reducción de tamaño solamente)	6 - 13 mm	Apertura de una función de la capacidad hidráulica de la unidad
Molino (reducción de tamaño solamente)	6 - 13 mm	En canal abierto
Pérdidas típicas	300 - 450 mm	
Tamiz fijo estático (rejilla fina)	2.3 a 6.4 mm	Aperturas menores a 1.3 mm son usadas en pretratamiento o tratamiento primario

(CONAGUA, 2016a)

Continuación tabla 2.3

Concepto	Rango	Comentarios
Tamiz ajustable	0.02 a 0.3 mm	Poco utilizado en plantas municipales, sólo en el efluente secundario

(CONAGUA, 2016a)

Rejillas de limpieza manual

Para facilitar la extracción de basura y reducir la tendencia de obstrucciones, las rejillas de limpieza manual tienen inclinaciones de 45 a 60 grados con respecto a la horizontal y suelen tener de 25 a 50 mm de abertura; las rejillas se rastrillan manualmente hacia una placa perforada donde drenan los desechos antes de ser retirados y aunque este tipo de rejillas requieren de poco mantenimiento, exigen rastrillar frecuentemente para evitar la obstrucción de estas y normalmente se colocan en instalaciones pequeñas o donde se han colocado trituradores y cribas que se limpian mecánicamente. **(CONAGUA, 2016a).**

Rejas y rejillas de limpieza automática

Las rejillas de limpieza mecánica tienen aperturas que oscilan normalmente entre 6 y 38 mm, con barras establecidas de entre 0 a 30 grados respecto a la vertical; la limpieza automática tiende a reducir los costos laborales, mejorar las condiciones de flujo y de captura de cribado, así como reducir las molestias de malos olores. **(CONAGUA, 2016a).**

Desarenador

El desarenado es una parte importante en el tren de tratamiento del agua residual; evita la abrasión innecesaria y el desgaste de los equipos electromecánicos, depósitos de arena en tuberías y canales, y la acumulación de arena en digestores anaerobios y tanques de aireación. **(César E. & Vázquez A., 2001).** Además, reduce la frecuencia de la limpieza del digestor causada por la acumulación excesiva de arena, de estos elementos existen tres tipos generales de desarenadores que a continuación se mencionan. **(CONAGUA, 2016a).**

De flujo horizontal. El flujo pasa a través de la cámara en una dirección horizontal y la velocidad es controlada por las dimensiones de la unidad; una buena distribución del afluente y un vertedor de control en el extremo efluente ayudan al funcionamiento de la unidad. **(CONAGUA, 2016a).**

Aireado. Consiste en un tanque de aireación en espiral donde la velocidad del flujo en espiral es inducida y controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad de aire suministrado a la unidad. **(CONAGUA, 2016a).**

De Vórtice. Consiste en un tanque cilíndrico en el que el flujo entra tangencialmente creando un patrón de flujo e vórtice; fuerzas centrífugas y gravitacionales provocan que la arena se separe. **(CONAGUA, 2016a).**

El diseño de desarenadores se basa generalmente en la eliminación de partículas de arena que tienen un peso específico de 2.65, una temperatura de agua residual de 15.5 °C y un tamaño de partícula de 0.21 mm; las partículas de arena son discretas y no floculantes e

incluyen partículas de arena, grava, materiales minerales y orgánicos mínimamente putrescibles, como granos de café, cascaras de huevo, cáscaras de fruta y semillas. **(CONAGUA, 2016a)**.

Estas unidades horizontales como las mostradas en la figura 2.9, se han diseñado para funcionar a una velocidad del orden de 0.3 m/s, que proporciona el tiempo suficiente para que las partículas de arena puedan asentarse en el fondo del canal. **(CONAGUA, 2016a)**. Su diseño básico es que, en las condiciones más adversas, la partícula más ligera del grano llegará a la cama del canal antes del extremo de salida; generalmente están diseñados para eliminar partículas mayores o iguales a 0.21 mm, aunque algunos canales se diseñan para eliminar arenas de 0.15 mm. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.



Figura 2.9 Desarenadores horizontales

(CONAGUA, 2016a)

La longitud del canal se rige por la profundidad requerida por la velocidad de sedimentación, y la sección de control y el área de la sección transversal se regirá por la tasa de flujo y por el número de canales, además de considerar longitud por turbulencia de entrada y de salida de la unidad. En la tabla 2.4, se muestran los criterios de diseño para desarenadores horizontales. **(CONAGUA, 2016a)**.

Tabla 2.4 Criterios de diseño para desarenadores horizontales

Componente	Rango	Comentario
Dimensiones		
Profundidad del agua (m)	0.6 - 1.5	Depende del área del canal y del gasto
Longitud (m)	3.0 - 25	Es función de la profundidad del canal y de la velocidad de sedimentación de la arena
% adicional por entrada y turbulencia	25 - 50	Basado en la longitud teórica

(CONAGUA, 2016a)

Continuación tabla 2.4

Componente	Rango	Comentario
Tiempo de retención a gasto pico (s)	15 - 90	En función de la velocidad y la longitud del canal
Velocidad horizontal (m/s)	0.15 - 0.4	Velocidad óptima, 0.3 m/s

(CONAGUA, 2016a)

Canal Parshall y otros medidores de gasto

Cuando las plantas de tratamiento de agua residual tienen desarenadores horizontales tipo gravedad, se requiere controlar la velocidad del flujo que pasa a través de ellos y que normalmente estos flujos son muy variables; A pesar de la variabilidad del gasto, la velocidad del flujo debe permanecer constante o casi constante en el desarenador (generalmente 0.30 m/s) y esto se logra por medio de los canales Parshall, colocados al final de cada desarenador. **(CONAGUA, 2016a).**

El canal Parshall se selecciona para manejar los gastos mínimo, medio y máximo; una de las ventajas de utilizarlo es que la pérdida de carga cuando trabaja con la sumergencia recomendada, es mucho menor que la pérdida de carga con vertedores proporcionales, ya que requieren caída libre y un espacio mínimo por debajo de la cresta para que funcionen adecuadamente; en la figura 2.10 Se muestra la configuración general de un canal Parshall. **(CONAGUA, 2016a).**

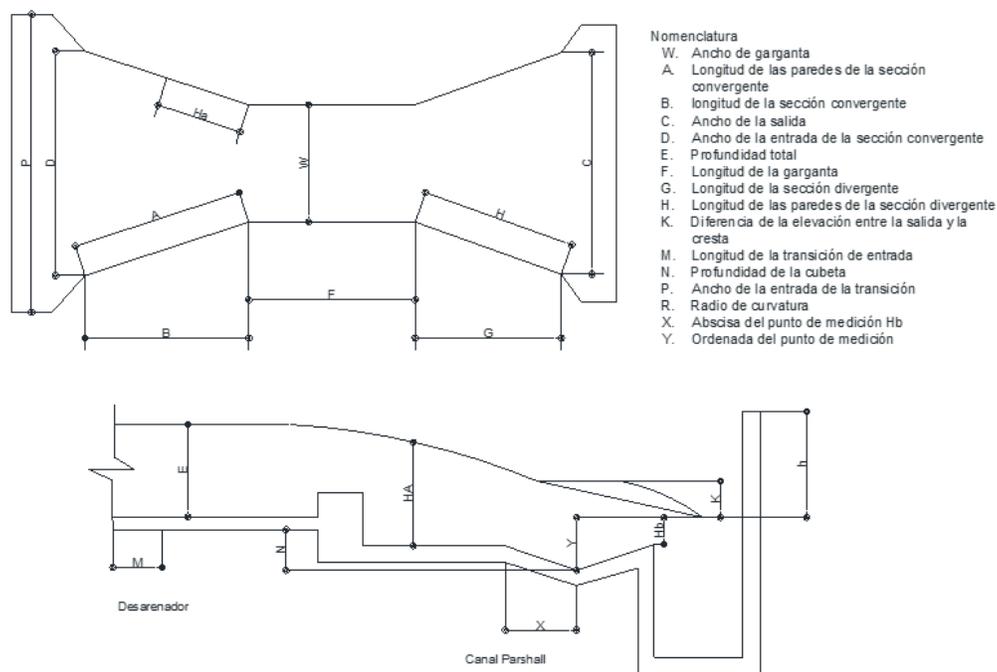


Figura 2.10 Configuración de un canal Parshall

(CONAGUA, 2016a)

La aplicación de vertedores en plantas de tratamiento de agua residual es común cuando se tienen desarenadores horizontales y funcionan con canales desarenadores cuya velocidad no sea superior a un valor determinado, generalmente 0.30 m/s. **(CONAGUA, 2016a)**. En el extremo final de cada canal desarenador, se coloca un vertedor proporcional que cumple con dos objetivos: el primero es que controla la velocidad en el desarenador y el segundo es la medición del gasto de entrada a la planta después del pretratamiento y antes de tratamiento primario. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

Para que el funcionamiento de los vertedores no sea afectado por la proximidad de las paredes y del piso del canal, se recomienda que la medición de la carga sobre el vertedor se efectúe a una distancia de cuatro veces la altura del tirante agua arriba con respecto al sitio donde se encuentre el vertedor. **(César E. & Vázquez A., 2001)**. Así, los cantos internos de los vertedores deben fabricarse de modo que permitan la descarga libre del agua, lo que se logra adelgazando la lámina; el dimensionamiento del canal Parshall está en función del gasto mínimo, medio y máximo que se quiera medir, de acuerdo a las tablas 2.5 y 2.6. **(CONAGUA, 2016a)**.

Tabla 2.5 Criterios de diseño para selección de ancho de garganta para canal Parshall

Ancho de Garganta	Intervalo de descarga		Ecuación
w en mm	$Q_{\text{máx}}$ [L/s]	$Q_{\text{mín}}$ [L/s]	m ³ /s, m
76,2	0.8	55	$Q = 0.176H_a^{1.547}$
152,4	1.5	110	$Q = 0.381H_a^{1.58}$
228,6	2.5	250	$Q = 0.535H_a^{1.53}$
304,8	3.1	455	$Q = 0.690H_a^{1.522}$
457,2	4.3	700	$Q = 1.054H_a^{1.538}$
609,6	12	950	$Q = 1.426H_a^{1.55}$
914,4	17	1400	$Q = 2.182H_a^{1.566}$
1219,2	37	1900	$Q = 2.935H_a^{1.578}$
1524	60	2400	$Q = 3.728H_a^{1.587}$
1828,8	70	2900	$Q = 4.515H_a^{1.595}$
2133,6	115	3450	$Q = 5.306H_a^{1.602}$
2438,4	130	3950	$Q = 6.101H_a^{1.606}$

(CONAGUA, 2016a)

Tabla 2.6 Dimensiones del canal Parshall según el ancho de garganta seleccionado

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	P	X	Y
7.6	46.7	45.7	17.8	25.9	45.7	15.2	30.5	2.5	-	5.7	-	2.5	3.8
15.2	62.1	61	39.4	39.7	61	30.5	61	7.6	30.5	11.4	90.2	5.1	7.6
22.9	87.9	86.4	38.1	57.5	76.2	30.5	45.7	7.6	30.5	11.4	108	5.1	7.6
30.5	137.2	134.3	61	84.5	91.4	61	91.4	7.6	38.1	22.9	149.2	5.1	7.6
45.7	144.8	141.9	76.2	102.6	91.4	61	91.4	7.6	38.1	22.9	167.6	5.1	7.6
61	152.4	149.5	91.4	120.6	91.4	61	91.4	7.6	38.1	22.9	185.4	5.1	7.6
91.5	167.6	164.5	121.9	157.2	91.4	61	91.4	7.6	38.1	22.9	222.2	5.1	7.6
122	182.9	179.4	152.4	193.7	91.4	61	91.4	7.6	45.7	22.9	271.1	5.1	7.6
152.5	198.1	194.3	182.9	230.2	91.4	61	91.4	7.6	45.7	22.9	308	5.1	7.6
182.8	213.4	209.2	213.4	266.7	91.4	61	91.4	7.6	45.7	22.9	344.2	5.1	7.6
213.5	228.6	224.2	243.8	303.2	91.4	61	91.4	7.6	45.7	22.9	381	5.1	7.6
244	243.8	239.1	274.3	339.7	91.4	61	91.4	7.6	45.7	22.9	417.2	5.1	7.6

(CONAGUA, 2016a)

Tanques de igualación

Las variaciones horarias del gasto de agua residual pueden tener un efecto adverso en el funcionamiento de los procesos de la planta; el cambio de la cantidad y concentración del agua a ser tratada propicia que la eficiencia de los procesos sea difícil; así, muchas unidades de tratamiento tendrían que diseñarse para las condiciones de gasto máximo extraordinario, provocando sobredimensionamiento para las condiciones promedio y esto su vez un elevado costo en la construcción y mantenimiento de la planta. **(CONAGUA, 2007).**

Para prevenir esta situación se puede construir un tanque de igualación, cuya función es amortiguar las variaciones de las descargas de agua residual con el fin de tratar un gasto uniforme además de que amortigua las variaciones en el pH y la concentración de constituyentes tóxicos presentes en el agua residual; la igualación del gasto, además, puede reducir el tamaño y costo de las unidades de tratamiento. **(CONAGUA, 2007).**

Después de las rejillas, el desarenador y la medición del gasto, el agua residual pasa a los tanques de igualación que la colectan y almacenan; a partir de ellos se bombea con un gasto constante hacia los procesos, donde se requiere proporcionar aireación y mezclado para evitar olores y que los sólidos se sedimenten. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

El volumen necesario para un tanque de igualación se estima mediante un balance de masa del gasto entrante a la planta con el gasto promedio para el que la planta está diseñada en otras palabras, la suma del máximo déficit y el máximo excedente de la diferencia entre los volúmenes de entrada y salida, da como resultado el volumen de almacenamiento teórico

del tanque. **(Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas, 2004).**

2.4.2 Tratamiento Primario

También llamada sedimentación primaria, el tratamiento primario busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química donde, generalmente la sedimentación de los sólidos suspendidos se lleva a cabo en un tanque en el que se mantienen las aguas provenientes del pretratamiento por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que del 40 a 65% de los sólidos finamente divididos se depositen en el fondo del tanque y que se extraen por medio de colectores mecánicos, ya en forma de lodos donde la mayor parte de los sólidos suspendidos que están presentes en el agua residual, son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural; generalmente no se adicionan coagulantes químicos ni se utilizan operaciones de mezclado mecánico ni floculación. **(CONAGUA, 2016a).**

El material orgánico es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente, por lo general en un intervalo entre 1 y 2.5 m/h, pues los materiales orgánicos más ligeros como grasas y aceites, flotan en la superficie y se deben desnatar. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares; en los tanques rectangulares como el mostrado en la figura 2.11, la espuma que concentra en el espejo de agua es retirada con una rastra mecánica que de manera alternada recorre el tanque por el fondo retirando los sólidos sedimentados, así el material flotante es desplazado hasta un sitio donde se colecta mediante una rastra transversal. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

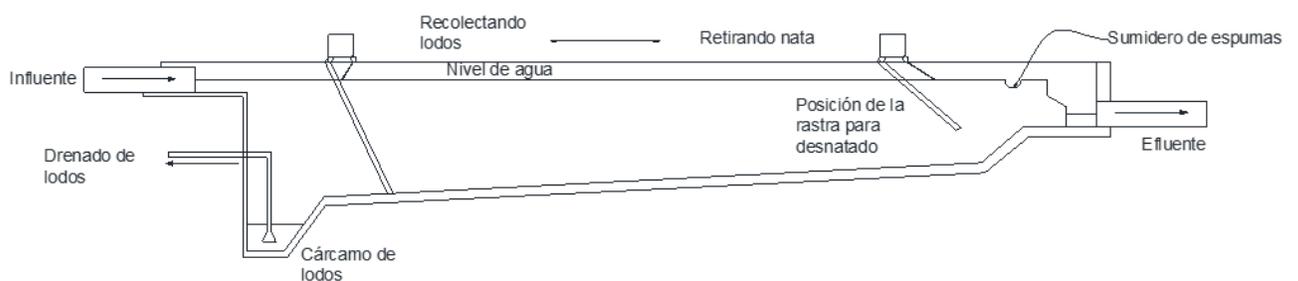


Figura 2.11 Tanque rectangular alargado con rastra para lodo

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

Los tanques circulares cuentan con un brazo desnatador que está unido a la rastra de lodos, como se muestra en las figuras 2.12 y 2.13. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

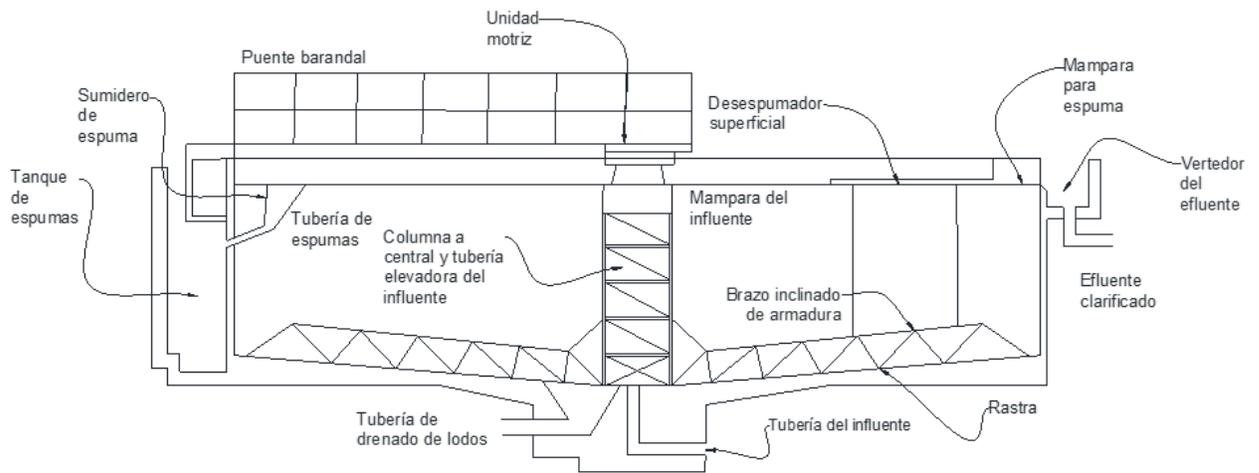


Figura 2.12 Tanque sedimentador primario tipo circular con alimentación por el centro

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

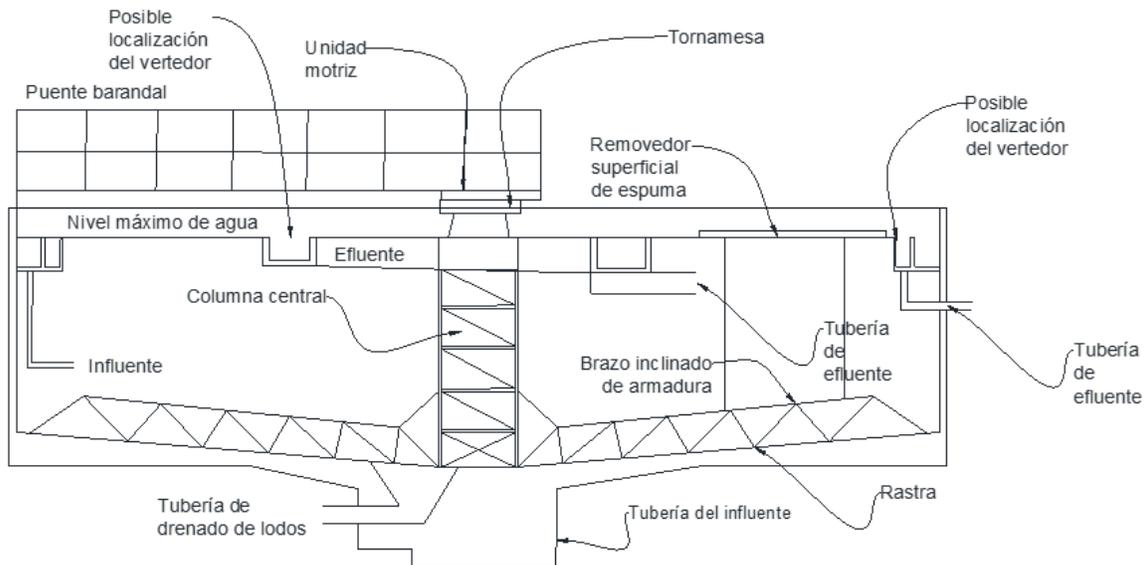


Figura 2.13 Tanque sedimentador tipo circular con alimentación por el borde

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

A diferencia de los tanques rectangulares, cuyo flujo es horizontal, en los tanques circulares es de tipo radial; el agua a tratar se introduce por el centro o por la periferia del tanque, como se muestra en la figura 2.14. Aunque cabe mencionar que el sistema central es el más común, ambas configuraciones producen buenos resultados. (César E. & Vázquez A., 2001).

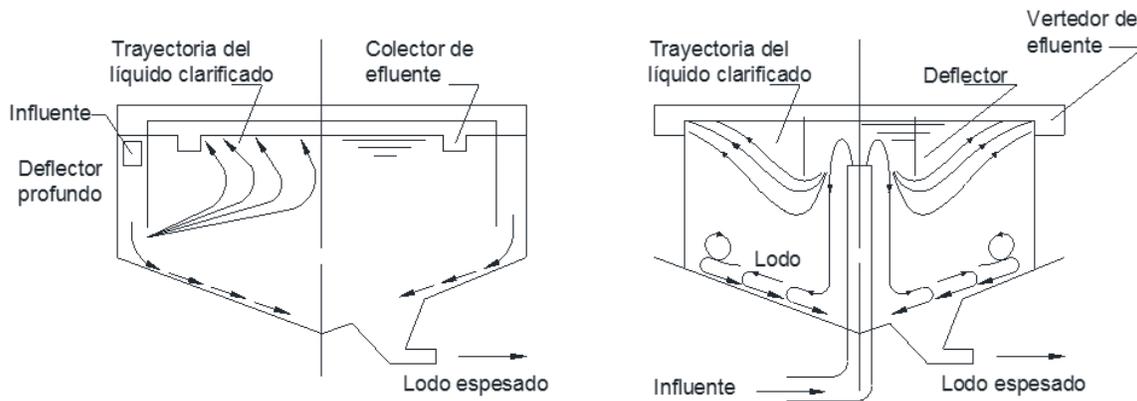


Figura 2.14 Trayectoria del efluente y lodos en tanques de sedimentación circular con alimentación perimetral y alimentación central

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

Tanto en los tanques rectangulares como en los circulares se requiere la construcción de una mampara entre el dispositivo de remoción de espuma y el vertedor del efluente; la espuma separada se dispone junto con el material retenido en el cribado, la arena y el lodo digerido; la tabla 2.7 Muestra los criterios de diseño para los tanques de sedimentación primaria. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Tabla 2.7 Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria

Parámetro	Intervalo	Valor Típico
Tiempo de retención, en h.	1.5 - 2.5	2
Carga superficial, en m ³ /m ² /d		
-Gasto medio	32 - 48	
-Gasto máximo ext.	80 - 120	100
Carga sobre el vertedor m ³ / m d	125 - 500	250
Dimensiones, en m		
Rectangular		
-Profundidad	3.0 - 5.0	3.6
-Longitud	15 - 90	25 - 40
-Ancho	3 - 24	6 - 40
-Velocidad de la rastra	0.6 - 1.2 m/min	1.0
Circular		
-Profundidad	3 - 5	4.5
-Diámetro	3.6 - 60	12 - 45
-Pendiente del fondo	60 - 160 mm/m	80
-Velocidad de la rastra	0.02 - 0.05 rpm	0.03

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

La eficiencia de los tanques de sedimentación para remover sólidos suspendidos totales y DBO puede verse afectada por las siguientes causas:

- Corrientes arremolinadas en la entrada debidas a la inercia del fluido. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Corrientes inducidas por la acción del viento. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Corrientes de convección térmica. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Corrientes de densidad originadas por el acceso de aguas calientes o frías. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Estratificación térmica propia de climas calientes y áridos. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Los efectos ocasionados por la temperatura tienen consecuencias importantes en los tanques de sedimentación; la variación de tan sólo 1°C entre el influente y el agua del tanque, puede ocasionar corrientes de densidad así, los impactos por temperatura dependerán del material que se desea remover y de sus características. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

El efecto de la tasa de carga superficial y el tiempo de retención que ejercen sobre la eficiencia de la remoción de sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de las características del agua residual, fracción de sólidos sedimentables, concentración de sólidos y otros factores, por eso es necesario saber que las tasas de carga superficial deben ser lo suficientemente bajas como para asegurar su desempeño satisfactorio bajo condiciones de gasto máximo extraordinario. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

2.4.3 Tratamiento Secundario

El efluente del tratamiento primario contiene del 40 al 50% de los sólidos suspendidos que tenía el influente de la planta y virtualmente todos los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, así que el tratamiento secundario se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos; suele aplicarse tras los anteriores y consiste en la oxidación aerobia de la materia orgánica o su eliminación anaerobia en digestores cerrados, donde ambos sistemas producen lodos en mayor o menor medida que a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y disposición final. **(Metcalf & Eddy, 1997).**

Si en el diseño se decide utilizar procesos físico-químicos, pueden presentarse combinaciones de operaciones y procesos unitarios tales como coagulación, microcribado, filtración, oxidación química, adsorción con carbono y otros procesos para remover sólidos y reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno a niveles aceptables; sin embargo, los procesos biológicos se usan prácticamente en todos los sistemas de tratamiento secundario de agua residual. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

En el tratamiento biológico, los microorganismos usan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual como fuente de alimento y los convierten en células biológicamente denominadas biomasa; debido a que en el agua residual contiene diversas sustancias orgánicas, se requiere de diversos tipos de microorganismos, es decir, un cultivo mezclado; así, cada tipo de microorganismo mezclado, utiliza la fuente de alimento más adecuada a su metabolismo. **(Metcalf & Eddy, 1997)**. También dentro de este cultivo contiene depredadores, es decir, microorganismos que devoran a los de otras especies y, finalmente, la biomasa creada se tiene que eliminar del agua residual para completar el proceso de tratamiento; la tabla 2.8 presenta los principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento del agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1997)**.

Tabla 2.8 Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento de agua residual

Tipo	Nombre común	Uso
Procesos aerobios: Cultivo en suspensión	Proceso de lodos activados: Flujo en pistón, tanque de mezcla completa, aireación graduada, oxígeno puro, aireación modificada, contacto y estabilización, aireación prolongada, canales de oxidación	Eliminación de DBO y nitrificación
Cultivo fijo	Nitrificación de cultivos en suspensión: Lagunas aireadas	Nitrificación y eliminación de DBO carbonosa
	Digestión aerobia: aire convencional, oxígeno puro	Estabilización y eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques aerobios de alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
	Filtros percoladores: baja carga, alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa y nitrificación
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO carbonosa
	Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)	Eliminación de la DBO carbonosa y nitrificación
	Reactores de lecho compacto	Nitrificación
Procesos combinados	Filtros percoladores, lodos activados	Eliminación de la DBO carbonosa y nitrificación
Procesos anóxicos: cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación
Crecimiento fijo	Desnitrificación con cultivo fijo	Desnitrificación
Procesos anaerobios: cultivo en suspensión	Digestión anaerobia: baja carga, alta carga, una etapa, doble etapa	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa

(Metcalf & Eddy, 1995)

Continuación tabla 2.8

Tipo	Nombre común	Uso
Cultivo fijo	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO carbonosa
	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización y desnitrificación
	Lagunas anaerobias (estanques)	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización
Procesos aerobios, anóxicos o anaerobios: cultivo en suspensión	Fase única: nitrificación-desnitrificación	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación
Crecimiento vinculado: procesos combinados de cultivo fijo	Nitrificación-desnitrificación	Nitrificación, desnitrificación
	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques de maduración	Eliminación de la DBO carbonosa y nitrificación
	Estanques anaerobios-facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques anaerobios-facultativos-aerobios	Eliminación de la DBO carbonosa

(Metcalf & Eddy, 1995)

Los reactores donde se llevan a cabo los procesos antes mencionados, pueden contener cultivos suspendidos o cultivos adheridos; en los cultivos suspendidos los microorganismos están suspendidos en el agua residual como células individuales o como racimos de células llamados flóculos, que posteriormente son rodeadas por el agua residual que contienen su alimento y otros elementos esenciales; los cultivos adheridos consisten en masas de microorganismos adheridos a superficies, mientras que el agua residual pasa sobre la película microbiana. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Reactor Anaerobio de Flujo ascendente

Este tipo de sistemas se utiliza principalmente para tratar el agua residual concentrada, ya sea agua residual industrial, agropecuaria e incluso doméstica entre otros. **(CONAGUA, 2016b).** Los RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) como se les conoce, es uno de los procesos biológicos que para su buen funcionamiento requiere un pretratamiento adecuado para que este funcione adecuadamente. **(CONAGUA, 2016b).**

Su funcionamiento consiste principalmente en la conversión de los compuestos orgánicos en metano, bióxido de carbono y masa microbiana, implicando un proceso de reacciones bioquímicas; el agua es conducida mediante tuberías por debajo del tanque, así el flujo asciende a través de un manto de lodos que contiene microorganismos anaerobios que

llevan a cabo el tratamiento y que generan biogás en este proceso que circula en el interior logrando un mezclado. **(CONAGUA, 2016b)**.

El biogás, el lodo y el líquido ascienden a la parte superior del reactor donde entran en contacto con estructuras que permiten la separación del biogás y la sedimentación del lodo así, el líquido clarificado es recolectado en la parte superior del reactor como se muestra en la figura 2.15 que se muestra a continuación. **(CONAGUA, 2016b)**.

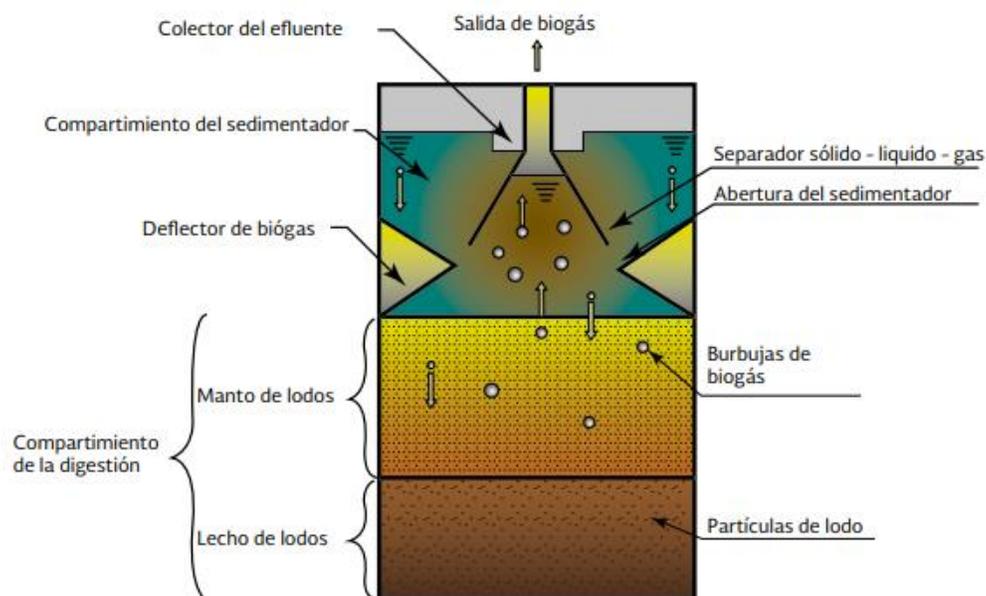


Figura 2.15 Esquema de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

(CONAGUA, 2016b)

Generalmente el arreglo de un tren de tratamiento de agua residual que se compone principalmente de un reactor anaerobio de flujo ascendente, se complementa con un reactor de lodos activados y sedimentadores secundarios, para garantizar la remoción de nutrientes que este proceso no elimina por completo. **(Jáuregui, J., Retes, J., Medina, I., Lozano, J., Chávez, N., y Dávila, G., 2011)**.

Ventajas

- Bajo consumo de energía. **(CONAGUA, 2016b)**.
- Trata agua residual con alta carga orgánica. **(CONAGUA, 2016b)**.
- Generación de biogás. **(CONAGUA, 2016b)**.
- Generación de pocos lodos. **(CONAGUA, 2016b)**.

Desventajas

- Control de la temperatura del agua residual para los procesos bacterianos. **(CONAGUA, 2016b)**.

- Se mantiene el contenido de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo. **(CONAGUA, 2016b)**.

Sistema de Lodos Activados

Es un sistema de cultivo suspendido desarrollado en Inglaterra por Arden y Lockett en 1914; cuando se agita en presencia de oxígeno un agua residual previamente pasada por un sistema de tratamiento primario, se forma un flóculo de lodo en el que se desarrollan muchas bacterias y organismos vivos, con lo que dicho flóculo se vuelve activo, oxidando y absorbiendo materia orgánica, de aquí que se denomina *lodos activados*. **(César E. & Vázquez A., 2001)**. Entonces, los lodos y su carga de vida microscópica se posan rápidamente y arrastra consigo todos los sólidos en suspensión y gran parte de los que se hallan en estado coloidal; los lodos sedimentados que contienen microorganismos vivos, se regresan al reactor para incrementar la biomasa disponible y acelerar las reacciones. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

De esta manera el proceso de lodos activados es un proceso de cultivo suspendido con recirculación de lodos y puede ser un proceso completamente mezclado o un proceso de flujo pistón, es un proceso aerobio, siendo el oxígeno suministrado por el aire de la atmósfera; la figura 2.16 muestra el arreglo general de un sistema de lodos activados. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

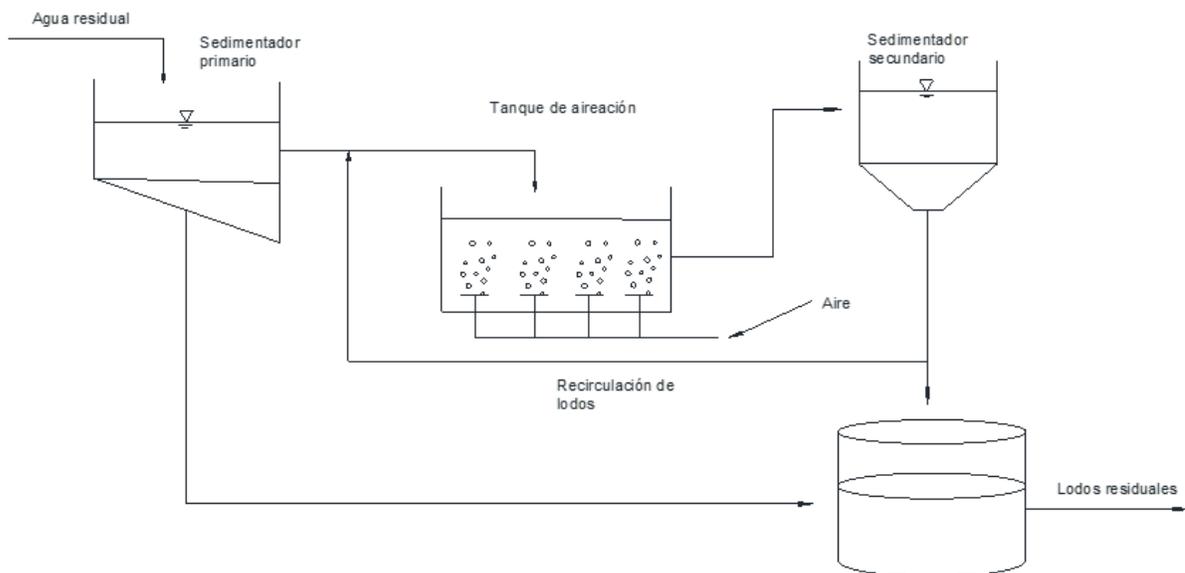


Figura 2.16 Diagrama de flujo general de un sistema de lodos activados

(Arredondo, 2013)

Entonces sus componentes básicos son un reactor en el que los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en suspensión y se airean, y posteriormente se realiza la separación de sólidos y líquidos por lo general en un tanque de sedimentación y finalmente un sistema de recirculación de lodos de vuelta al reactor. **(CONAGUA, 2016c)**.

Ventajas

- Facilidad en la operación, pues se tiene control de la biomasa durante el proceso. **(Arredondo, 2013)**
- Alta eficiencia de remoción de carga orgánica en comparación con los sistemas de cultivo fijo. **(Arredondo, 2013)**
- Minimización de olores y ausencia de insectos. **(Arredondo, 2013)**
- Puede incorporar desnitrificación al proceso. **(Arredondo, 2013)**
- Regula energía consumida por variaciones de carga orgánica. **(Arredondo, 2013)**
- Los lodos generados son altamente mineralizados por lo que no requieren tratamiento posterior. **(Arredondo, 2013)**
- Al generar lodos estabilizados pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo y obtención de biogás. **(Arredondo, 2013)**

Desventajas

- Requiere mayor mantenimiento. **(Arredondo, 2013)**
- Dependencia de la temperatura del influente a tratar y condiciones de pH y presencia de sustancias tóxicas. **(Arredondo, 2013)**
- Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos. **(Arredondo, 2013)**
- Control permanente operativo y de análisis de laboratorio. **(Arredondo, 2013)**
- Altos costos de operación asociados a los requerimientos de oxígeno. **(Arredondo, 2013)**
- Bajo abatimiento bacteriológico. **(Arredondo, 2013)**
- Requiere efectuar desinfección final al efluente. **(Arredondo, 2013)**

Sistema de Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservas artificiales que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. En la primera se remueve principalmente materia orgánica suspendida y parte de la fracción soluble de la materia orgánica. **(Arredondo, 2013)**. En la segunda etapa se remueve la mayoría de la fracción remanente de DBO soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas. **(Arredondo, 2013)**. Finalmente, la tercera etapa se encarga de la remoción de patógenos y nutrientes, principalmente nitrógeno; la figura 2.17 muestra un esquema general del proceso biológico que ocurre en estanques facultativos. **(Arredondo, 2013)**

El nivel de turbulencia en las lagunas de mezcla completa es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen del líquido. **(Ramalho, R. S., 1991)**. Sin embargo, el nivel de turbulencia en las lagunas facultativas es insuficiente por lo que parte de los sólidos decantan en el fondo donde sufren descomposición anaerobia. **(Ramalho, R. S., 1991)**.

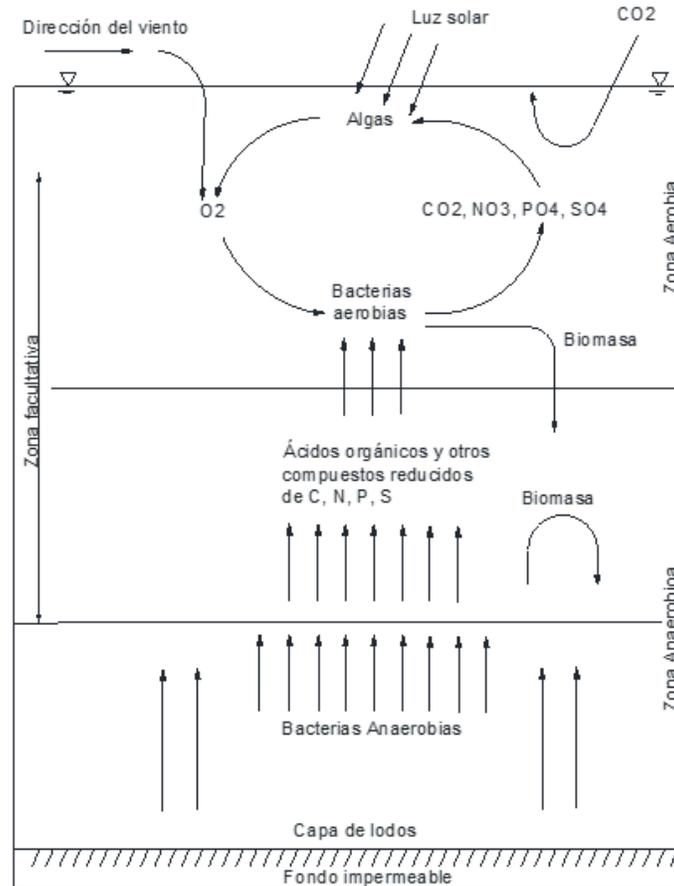


Figura 2.17 Esquema generalizado del proceso biológico en una laguna facultativa

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

Estas lagunas de estabilización representan la tecnología más benéfica del tratamiento del agua residual para la remoción de microorganismos patógenos por medio de mecanismos de desinfección natural. Sin embargo, las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación. Las reacciones biológicas se pueden duplicar por cada $10^\circ C$ de incremento en la temperatura del agua. Cuando la temperatura desciende cercana a la de congelación, la actividad biológica cesa virtualmente. **(Sánchez, J. & Sanabria, J., 2009)**.

Ventajas

- Se pueden tratar gran variedad de agua residual como doméstica, industrial y agrícola cuando la carga contaminante es biodegradable. **(Arredondo, 2013)**.
- En lagunas con grandes periodos de retención hidráulica, generalmente se eliminan los huevos y quistes de los parásitos intestinales, lo que no ocurre con tratamientos convencionales, aun con desinfección. **(Arredondo, 2013)**.
- Ahorros en costos de construcción y de operación. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.
- Poca habilidad del operador para mantener funcionando el sistema. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

Desventajas

- Concentración de sólidos suspendidos en el efluente. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.
- Los sólidos exceden frecuentemente los estándares para tratamiento secundario. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.
- Problemas de olor. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.
- Requerimiento de terrenos aptos para la ejecución de las lagunas. **(Arredondo, 2013)**.
- Deben estar alejados de zonas pobladas por lo que obliga la construcción de emisores de gran longitud. **(Arredondo, 2013)**.

Sistema de Biodiscos Rotatorios

Es un sistema de cultivo adherido donde el agua residual se pone en contacto con películas microbianas adheridas a superficies y consiste en discos rotatorios sumergidos parcialmente en el agua residual donde los microorganismos se adhieren a las superficies sólidas del medio que corresponden a los mismos grupos que aquellos que se encuentran en los lodos activados, mayoritariamente organismos heterótrofos. **(CONAGUA, 2016f)**.

Los medios de soporte son discos grandes, planos montados en una flecha común que rotan en tanques que tienen un contorno curvo y en los que el agua residual fluye de manera continua como se muestra en la figura 2.18. **(César E. & Vázquez A., 2001)**. Actualmente los biodiscos se fabrican de polietileno de alta densidad y son movidos mecánicamente o con aire. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

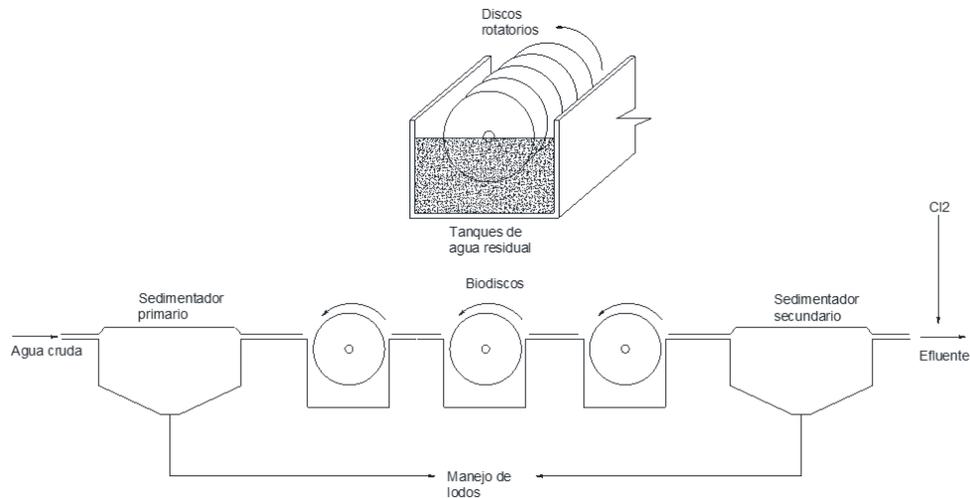


Figura 2.18 Sección transversal y sistema de tratamiento con biodiscos

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

El medio de soporte consiste en hojas plásticas que pueden ser de 2 a 4 m de diámetro y de hasta 10 mm de espesor donde el espacio entre discos planos es de entre 30 y 40 mm; su diseño incluye huecos radiales a intervalos de 15° que se extienden desde la región central hasta el perímetro del medio a través de los cuáles pasan libremente hacia adentro y fuera del medio, el agua residual, el aire y la biomasa suspendida. (César E. & Vázquez A., 2001).

Los discos se sumergen en el agua residual aproximadamente el 40% de su diámetro y rotan mediante energía suministrada a la flecha, de esta manera aproximadamente el 95% del área superficial se sumerge en el agua residual y después se expone a la atmósfera de manera alternada. (César E. & Vázquez A., 2001). La velocidad de rotación varía entre 1 y 2 r/min, que debe ser suficiente para el desprendimiento de la biomasa y para mantener suficiente turbulencia que mantenga a los sólidos en suspensión conforme el agua pasa por el tanque. (César E. & Vázquez A., 2001).

En virtud de que la biopelícula se oxigena fuera del agua residual, podrían desarrollarse condiciones anaerobias en el líquido, es por eso que cuando se usan módulos múltiples en serie de biodiscos, se inyecta aire cerca del fondo del tanque. (César E. & Vázquez A., 2001).

Ventajas

- Costo de mantenimiento reducido. (Arredondo, 2013).
- Consumo de energía reducido. (Arredondo, 2013).
- Alta eficiencia. (Arredondo, 2013).

Desventajas

- El costo de inversión es grande. (Arredondo, 2013).
- Es sensible a la temperatura. (César E. & Vázquez A., 2001).

- Se requiere instalaciones para cubrir los medios de soporte por intemperismo. **(Arredondo, 2013).**
- Crecimiento de algas. **(Arredondo, 2013).**
- Costos por inyección de oxígeno. **(Arredondo, 2013).**

Sistema de Filtros Percoladores

Consiste en un reactor en el que se coloca al azar un medio sólido de soporte, cuya superficie servirá para el crecimiento de la biopelícula donde se requiere además un sistema de distribución del agua residual sobre el medio y otro para conducir el efluente; en los filtros percoladores se usa comúnmente roca triturada como medio de soporte debido a que es fuerte, durable y químicamente resistente para el crecimiento de la biopelícula sin embargo, también se suele utilizar un medio de soporte de plástico de formas variadas y otros materiales como la madera u otros plásticos. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Para aplicar el agua residual sobre el medio de soporte se emplea un sistema de distribución rotatorio, como se muestra en la figura 2.19 además, se requiere de al menos 1 m de carga hidráulica para que la acción del chorro a través de las boquillas de potencia al rotor. **(César E. & Vázquez A., 2001).** El sistema permite la aplicación del agua de manera intermitente lo que posibilita la circulación del aire a través de los espacios vacíos entre cada dosificación así, el agua se dispersa en la parte superior a algunos centímetros del medio de soporte, lo que da como resultado una carga hidráulica uniforme en la profundidad del lecho de roca o plástico. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

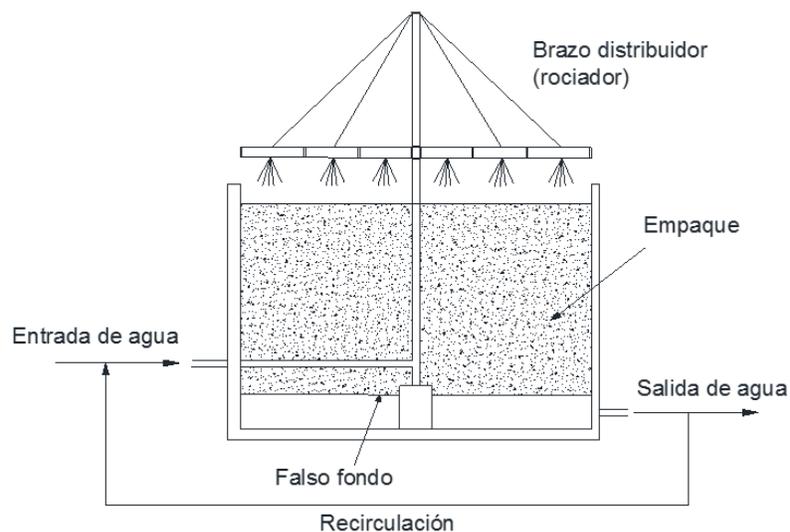


Figura 2.19 Esquema de la sección transversal de un filtro percolador

(Noyola, 2013)

El sistema de drenaje del reactor se diseña para conducir el agua residual tratada y la biomasa desprendida. **(César E. & Vázquez A., 2001)**. Los criterios de diseño típicos se muestran en la tabla 2.9; las tasas que se muestran en el cuadro, limitan su profundidad a aproximadamente 2 m debido a la pérdida de carga a tras del medio empacado. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

La interfase biomasa-agua-aire propicia que los filtros percoladores sean extremadamente sensibles a las variaciones de temperatura, es por eso que la calidad del efluente muestra variaciones estacionales drásticas debidas principalmente a los cambios de temperatura del aire; las temperaturas extremadamente frías, congelan y destruyen la biopelícula. **(César E. & Vázquez A., 2001)**.

Tabla 2.9 Criterios de diseño para filtros percoladores

Parámetro	Filtro de baja tasa	Filtro de tasa intermedia	Filtro de alta tasa
Tasa de carga hidráulica m ³ /m ² d	1 - 4	4 - 10	10 - 40
Tasa de carga orgánica kg/m ³ d	0.08 - 0.32	0.24 - 0.48	0.32 - 1.0
Profundidad, m	1.5 - 3	1.25 - 2.5	1.0 - 2.0
Relación de recirculación	0	0 - 1	1 - 3; 2 - 1
Medio filtrante	Roca	Roca	Roca. Materiales sintéticos
Requerimientos de energía kW/103 m ³	2 - 4	2 - 8	6 - 10
Cantidad de moscas en el filtro	Gran cantidad	Cantidad intermedia	Unas cuantas; las larvas son deslavadas
Deslavado	Intermitente	Intermitente	Continuo
Intervalos de dosis	No mayor a 5 minutos (generalmente intermitente)	De 15 a 60 s (continuo)	No mayor a 15 s (continuo)
Efluente	Normalmente completamente nitrificado	Parcialmente nitrificado	Nitrificado a bajas cargas

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

Ventajas

- Menor costo que otros sistemas como biotorres y biodiscos
- Medios filtrantes accesibles
- Costo de operación y mantenimiento reducidos

Desventajas

- Tasas de carga menores
- Obstrucción debido a la porosidad del medio
- Sensible a la temperatura

- Problema de olores
- Problema de moscas, larvas y gusanos

Sistema de Biotorres

Son esencialmente filtros percoladores profundos que para evitar el peso excesivo que se generaría al utilizar roca triturada como medio de soporte, se utilizan medios de soporte modulares ligeros que se colocan alternadamente y que llegan a alcanzar hasta 12 m de altura con lo que se tiene un volumen grande en una estructura de contención relativamente pequeña. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Las biotorres operan de manera similar a los filtros percoladores de alta tasa y comúnmente se practica la recirculación directa de 1 a 3 veces el flujo de entrada; el metabolismo del sustrato diluido está en la fase de respiración endógena en la mayor parte de la profundidad de la biotorre y generalmente satisface la DBO carbonácea y la nitrificación. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Ventajas

- Mayores tasas de carga. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Minimización de la obstrucción debido a la porosidad del medio. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Mejor ventilación del sistema. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Mejora los problemas de olor. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Desventajas

- Mayor costo de bombeo requerido para la recirculación. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Mayor pérdida de carga hidráulica de toda la profundidad del lecho. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- Mayor costo de mantenimiento. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

2.4.4 Tratamiento Avanzado

Muchas de las sustancias halladas en el agua residual se ven poco o nada afectadas por los procesos y operaciones de tratamiento convencionales sin embargo, cuando los efectos de estas sustancias como el nitrógeno y fósforo se conocen bien, las exigencias de los tratamientos son más rigurosos en lo que se refiere a la concentración tolerable en el efluente de la planta de tratamiento. **(CONAGUA, 2016e).**

Desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características, es por eso que si se emplea intensivamente se puede lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes). **(CONAGUA, 2016e).** Sin embargo, el agua residual industrial varía considerablemente en

cuanto a la concentración de sustancias químicas respecto al agua residual doméstica. **(CONAGUA, 2016e).**

Las sustancias comúnmente encontradas en el agua residual y las concentraciones en las que puede haber problema al ser evacuadas al medio ambiente se indican en la tabla 2.10., desde los años sesenta, los compuestos que tienen nitrógeno y fósforo han recibido gran atención debido a sus efectos en el medio ambiente, aunque en algunos casos puede que la culpa del deterioro ambiental no sea de ninguna de estas sustancias sino de trazas de algunos elementos tales como cobalto, molibdeno o vanadio. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Tabla 2.10 Componentes químicos típicos que pueden encontrarse en el agua residual y sus efectos

Componente	Efecto	Concentración crítica, mg/L
INORGÁNICOS Amoniac	Aumenta la demanda de cloro; tóxico para los peces; puede convertirse en nitratos y agotar los recursos de oxígeno; con el fósforo puede llevar al desarrollo de crecimientos acuáticos indeseables	Cualquier cantidad
Calcio y magnesio	Aumenta la dureza y los sólidos totales disueltos	250
Cloruro	Imparte sabor salado; interfiere en los usos agrícolas e industriales	75-200
Mercurio	Tóxico para los seres humanos y la vida acuática	0.00005
Nitrato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas; puede causar metahemoglobinemia en los niños (niños azules)	0.3
Fosfato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas; interfiere con la coagulación; interfiere con el ablandamiento cal-sosa	0.015
Sulfato	Acción catártica	600-1000
ORGÁNICOS DDT	Tóxico para los peces y la vida acuática en general	0.001
Hexacloruro	Pueden ser cancerígenos; pueden causar problemas de sabor y olor en el agua	0.02
Petroquímicos		0.005-0.1
Compuestos fenólicos		0.0005-0.001
Agentes tensoactivos	Provocan espumas y pueden interferir con la coagulación	1.0-3.0

(Metcalf & Eddy, 1995)

Eliminación del nitrógeno

A lo largo de los últimos años se han utilizado y mejorado diversas operaciones y procesos para la conversión y eliminación del nitrógeno del agua residual; en la tabla 2.11 se resumen los tratamientos comunes para la eliminación del nitrógeno en el agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Tabla 2.11 Resumen de tratamiento avanzado para remoción de nitrógeno

Tratamiento	Resumen	Procesos
Nitrificación	El amoniaco se oxida a nitrato antes de la descarga	Proceso combinado de oxidación del carbono y nitrificación; Nitrificación por fases independientes
Desnitrificación y Nitrificación-Desnitrificación	El amoniaco se convierte en nitrato (por vía aerobia), nitrificación. Después los nitratos se convierten en nitrógeno gas, desnitrificación	Sistemas independientes con fuente exterior de carbono; Procesos combinados de oxidación del carbono y nitrificación-desnitrificación; proceso Bardenpho.
Procesos físicos y químicos	Separación de amoniaco, oxidación de nitrógeno amoniacal a gas nitrógeno	Separación del amoniaco por arrastre con aire; cloración al <i>breakpoint</i> ; Intercambio iónico

(Metcalf & Eddy, 1995)

Eliminación del Fósforo

En la mayoría del agua residual, alrededor del 10% de fósforo correspondiente a la fracción insoluble se suele eliminar por sedimentación primaria sin embargo, la eliminación del fósforo restante se consigue con tratamientos biológicos convencionales ya que después de la sedimentación primaria la mayoría del fósforo presente es soluble por lo que la remoción del fósforo se puede llevar a cabo mediante procesos químicos, biológicos y físicos como lo muestra la tabla 2.12, donde se resumen los tratamientos comunes para la eliminación del fósforo en el agua residual. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Tabla 2.12 Resumen de tratamiento avanzado para remoción de fósforo

Proceso	Resumen	Ventajas	Desventajas
A/O	Se utiliza para llevar a cabo la oxidación del carbono y la eliminación de fósforo. Es un sistema de cultivo en suspensión que combina etapas aerobias y anaerobias. El fósforo entonces, se libera en forma de fosfatos solubles bajo condiciones anaerobias, después el fósforo es asimilado por la masa celular de la zona aerobia. Finalmente, el fósforo se separa del agua a través de los lodos.	Operación sencilla en comparación con los procesos restantes; el lodo tiene un contenido de fósforo relativamente elevado y tiene valor como fertilizante; Tiempo de retención hidráulica relativamente corto; el proceso puede lograr una nitrificación completa	Es incapaz de conseguir simultáneamente eliminar el nitrógeno y el fósforo; El funcionamiento en clima frío es incierto; es necesario disponer de una relación DBO/P elevada; si el tiempo de retención celular en la fase aerobia es corto, es necesario transferir oxígeno

(Metcalf & Eddy, 1997)

Continuación tabla 2.12

Proceso	Resumen	Ventajas	Desventajas
PhoStrip	Se desvía a un tanque anaerobio una parte del lodo de recirculación del tratamiento secundario y se retiene entre 6 y 8 horas. El fósforo liberado en este tanque se extrae junto con otros compuestos y el lodo con bajo contenido en fósforo es recirculado al tanque de aireación. El sobrenadante rico en fósforo, es tratado con cal u otro coagulante y se conduce a tanques de sedimentación y así se obtiene el fósforo por precipitado químico.	Fácilmente incorporable a la planta de lodos; Proceso flexible, no está gobernado por la relación DBO/P; Ya se emplea este sistema en diversas plantas; Consigue niveles bajos de fósforo en el efluente;	Implica adición de cal para la precipitación del fósforo; Es necesario una cantidad elevada de oxígeno disuelto en la mezcla para la liberación del fósforo; la respiración anaerobia requiere tanques adicionales; formación de incrustaciones calcáreas pueden presentar problemas de mantenimiento
Reactor discontinuo secuencial	Se emplea para conseguir la oxidación del carbono, reducción del nitrógeno y eliminación del fósforo. El fósforo se elimina con la adición de coagulantes o biológicamente, así en la fase anaerobia se libera el fósforo mientras que el consumo de fósforo se llevará a cabo en la fase aerobia.	Proceso flexible en la eliminación del nitrógeno y fósforo; Sencillo de operar; cargas hidráulicas elevadas no producen arrastre de sólidos	Resulta indicado para caudales reducidos; Necesario disponer de unidades repetidas; La calidad del efluente depende de la fiabilidad de las instalaciones de vaciado; se dispone limitada información para proyecto

Eliminación de Compuestos Tóxicos y Materia Orgánica Refractaria

En los últimos años se ha prestado mayor atención a la remoción de sustancias tóxicas, pues tienen un efecto directo sobre el deterioro a la salud pública y el medio ambiente, definiendo a los compuestos orgánicos refractarios como compuestos resistentes a la degradación microbiana, tanto en procesos de tratamiento biológico convencionales como en el medio natural; la tabla 2.13 presenta los procesos más comunes de tratamiento para la eliminación de algunos de estos compuestos. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Tabla 2. 13 Tratamientos comunes para la eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria.

Proceso	Aplicación de eliminación
Adsorción sobre carbón activado	Compuestos orgánicos naturales y sintéticos entre los que se incluyen COV's, pesticidas, PCB's, metales pesados
Lodos activados- carbón activado en polvo	Metales pesados; amoniaco; determinados contaminantes prioritarios refractarios
Arrastre con aire	COV's y amoniaco
Coagulación química, sedimentación y filtración	Metales pesados y PCBs
Oxidación química	Amoniaco; compuestos refractarios y compuestos tóxicos alifáticos y aromáticos halogenados
Tratamiento biológico convencional (fangos activados, filtros percoladores)	Fenoles; PCB's; hidrocarburos hidrogenados seleccionados

(Metcalf & Eddy, 1995)

Eliminación de sustancias Inorgánicas disueltas

Muchos de los procesos mencionados anteriormente, son capaces de remover compuestos inorgánicos, no obstante, existen aplicaciones al tratamiento del agua residual para garantizar la remoción de ciertos compuestos minerales; en la tabla 2.14 se resumen los procesos de tratamiento típicos para la remoción de estas sustancias. **(Metcalf & Eddy, 1995).**

Tabla 2.14 Tratamientos comunes para la remoción de sustancias inorgánicas disueltas.

Proceso	Resumen
Precipitación química	Se suele conseguir con la adición de coagulantes como la alúmina, cal o sales metálicas y polímeros.
Intercambio iónico	Es un proceso unitario en el que los iones de las diferentes sustancias en disolución desplazan a los iones insolubles de un determinado material de intercambio.
Ultrafiltración	Son operaciones que emplean membranas porosas para la eliminación de materia disuelta y coloidal. Se diferencia de la ósmosis inversa por trabajar con presiones relativamente bajas.
Ósmosis Inversa	Es un proceso que separa el agua de las sales disueltas en disolución mediante la filtración a través de una membrana semipermeable a una presión superior a la presión osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual.
Electrodialisis	Los componentes iónicos de una solución se separan mediante el uso de membranas semipermeables selectiva de iones. El agua residual se bombea y se retiene entre 10 y 20 segundos. Así se eliminan sólidos disueltos mineralizados.

(Metcalf & Eddy, 1995)

Desinfección del efluente

La desinfección es un proceso de oxidación que conlleva la eliminación o desactivación de microorganismos presentes en el agua, sean o no patógenos y tiene como objetivo prevenir epidemias de infecciones gastrointestinales como cólera, tifoide, disentería entre otras. **(CONAGUA, 2016d).**

La desinfección constituye la etapa final de todo el tratamiento y la cloración es el método dominante en el mundo, aunque en algunos países también son utilizadas la luz ultravioleta, el yodo y la radiación gamma. **(CONAGUA, 2016d).**

Se trata de eliminar el mayor número y variedad de microorganismos sin provocar afectaciones en el entorno ni alterar químicamente la calidad del agua, mucho menos presentar toxicidad y al menor costo posible. **(CONAGUA, 2016d).**

2.4.5 Tratamiento y Disposición de Lodos

Durante el tratamiento del agua residual se presenta otro problema: los lodos, a mayor grado de tratamiento del agua residual, es mayor la cantidad de lodo que debe manejarse; además, si se lleva a cabo de forma satisfactoria, el tratamiento y disposición de los lodos es la operación unitaria más complicada y costosa de todo el tren de tratamiento, pues los lodos que fueron separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

En el tratamiento primario pueden ser 0.25 a 0.35 por ciento del volumen del agua residual tratadas; 1.5 a 2.0 por ciento si se utiliza el proceso de lodos activados y 1.0 por ciento adicional si se aplican sustancias químicas para la remoción de fósforo o algún otro tratamiento avanzado; sin embargo, aproximadamente el 97% de los lodos retirados del proceso de tratamiento, es agua; por lo tanto, el tratamiento consiste en la separación de esa cantidad de agua de los residuos sólidos y el agua separada se regresa al sistema de tratamiento de agua residual; en la figura 2.20, se presenta el proceso básico para el tratamiento de lodos. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

Los procesos básicos para el tratamiento del lodo según son los siguientes:

- **Espesamiento.** Es la separación de la mayor cantidad posible de agua por gravedad o flotación. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- **Estabilización.** Es la conversión de sólidos orgánicos en formas más inertes con el propósito de que puedan manejarse o usarse como acondicionadores de suelo sin causar daño o peligro a la salud. Se utiliza un proceso de oxidación bioquímica denominado digestión. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- **Acondicionamiento.** El lodo se trata con sustancias químicas o calor para que el agua pueda separarse rápidamente. **(César E. & Vázquez A., 2001).**
- **Deshidratado.** Se sujeta el lodo a vacío, presión o secado para separar el agua. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

- Reducción. Mediante procesos de oxidación química se reduce el volumen de lodo convirtiendo los sólidos a formas más estables por medio de incineración. **(César E. & Vázquez A., 2001).**

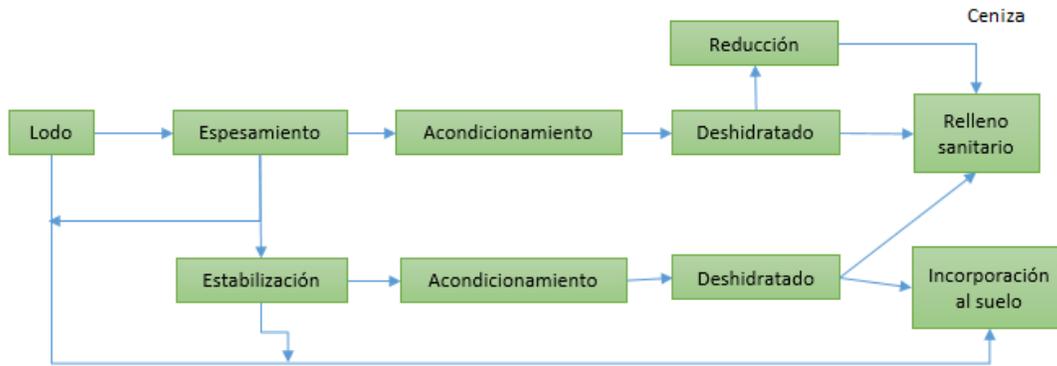


Figura 2.20 Alternativas básicas para el tratamiento y disposición de lodos

(César, E. & Vázquez, A. 2001)

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana. **(NOM-004-SEMARNAT-2002, 2002).**

Capítulo 3. Legislación Nacional

En México, antes de 1970 existían leyes referentes al uso de los recursos naturales, pero fue hasta hace poco más de cuatro décadas que el derecho ambiental surgió puesto que las leyes existentes no tomaban en cuenta los aspectos con relación a la conservación y recuperación de los recursos naturales. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

En 1971 se promulgó la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación, para después crear la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente que dependía de la Secretaría de Salud y que se convirtió en la primera institución pública establecida para atender principalmente los problemas de contaminación producida por la industria y los vehículos. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

Diez años después, en 1982, se crearon nuevas instituciones y se formaron nuevas bases jurídicas para implementar una política de protección al medio ambiente, en ese mismo año se creó la Secretaría de Desarrollo urbano y Ecología que además de atender lo que antes pertenecía a la Secretaría de Salud, vigilaba el funcionamiento de los ecosistemas naturales, así como la Ley Federal de Protección al Ambiente y a su vez, el *Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988* incorporó por primera vez el aspecto ecológico como factor en el desarrollo económico y social, planteando estrategias para el buen uso de los recursos naturales, uso de tecnologías eficientes y evitar el crecimiento urbano descontrolado en las zonas metropolitanas de México, Guadalajara y Monterrey. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

En 1987, la Constitución Política se reformó para dar cabida a la obligación del Estado para dictar medidas necesarias para ayudar a mantener el equilibrio ecológico en su artículo 27, así como facultar al congreso para legislar en materia de protección al ambiente en su artículo 73. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

Un año después, se promulgó la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), que fue cabecera en política ambiental a nivel Latinoamérica y que pronto, otros países la tomaron como base para elaborar su propia legislación ambiental con adecuaciones a sus realidades nacionales; esta ley estableció disposiciones para la protección de áreas naturales, prevención y control de la contaminación, y control en el manejo de residuos peligrosos, clasificaciones de las fuentes de contaminación y sanciones para quienes violaran las disposiciones contenidas en la ley. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).** La LGEEPA, logró cambiar el destino del país en cuanto a la política ambiental, pues después de su declaración dio pie a la creación de normas para crear las bases para la gestión medio ambiental. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

La diplomacia ambiental pasó a formar parte de la agenda internacional del país cuando en 1987, el gobierno federal ratificó el Protocolo de Montreal para la protección de la capa de

ozono y se firmó el Protocolo de Helsinki relativo a las emisiones de azufre; siendo en 1988 el firmado del Protocolo de Sofía relativo a óxidos de nitrógeno y sus efectos fronterizos y en 1989 se firmó el Convenio de Basilea para regular el tránsito fronterizo de desechos peligrosos. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

En 1989 se crea la Comisión Nacional del Agua que regulaba la administración del agua y la protección de las cuencas hidrológicas; tres años después se creó el Instituto Nacional de Ecología y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) que era el encargado de vigilar la aplicación de las leyes ambientales; la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), creada en 1994, pasó a ser la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales gestionando políticas de protección ambiental para incidir en la disminución de la contaminación, pérdida de ecosistemas y biodiversidad. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

Finalmente, una de las reformas más importantes se logró en 1998 en la LGEEPA, que estableció el derecho de todas las personas a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar; se reformó además el Reglamento de Aguas Nacionales; sin embargo, las autoridades reconocen que estas medidas no han modificado en gran manera las tendencias de degradación del medio ambiente puesto que se cuenta con recursos limitados para el sector ambiental, además de que el tema ambiental sigue alejado de la toma de decisiones de políticas económicas y de los sectores productivos. **(Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006).**

3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Es la ley máxima que rige la vida económica, política y social en México, y garantiza en su artículo cuarto el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, además de aclarar que el daño y deterioro ambiental genera responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley; además, en este artículo establece el derecho a toda persona al acceso, disposición y saneamiento al agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. **(Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917).**

Sin embargo, la prevención y control de la contaminación de los cuerpos de agua dentro del territorio nacional se encuentra estipulada en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) así como la Ley de Aguas Nacionales. **(Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917).**

3.2 Ley de Aguas Nacionales

Creada en 1992, es la ley que reglamenta el Art. 27 de la Constitución Política de México y tiene como finalidad regular el uso, aprovechamiento o explotación de las aguas nacionales,

así como su distribución, uso y preservación referente a su cantidad y calidad para lograr el desarrollo integral sostenible; además esta ley, también establece a la Comisión Nacional del Agua (CNA) como la autoridad administrativa en materia de aguas nacionales. **(Ley de Aguas Nacionales, 1992).**

El título séptimo de esta ley se nombra Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas y Responsabilidad por Daño Ambiental y su capítulo primero se titula Prevención y Control de la Contaminación del Agua; la tabla 3.1 presenta un resumen de los artículos en materia de agua residual incluidos en la Ley de Aguas Nacionales. **(Ley de Aguas Nacionales, 1992).**

Tabla 3.1 Resumen por artículos de la Ley de Aguas Nacionales

Artículo	Descripción
85	Coordinación de los tres órdenes de gobierno
86	Atribuciones de la Comisión
87	Determinación de parámetros de descarga
88	Trámites de permiso para descarga en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales
89	Otorgamiento de permisos para descarga de agua residual a cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales
90	Expedición de permisos para descarga de agua residual
91	Expedición de permisos para la infiltración de agua residual a acuíferos, descargas al alcantarillado o cuerpos receptores de agua o bienes nacionales
92	Suspensión de actividades por incumplimiento de las fracciones I-V de este artículo
93 y 94	Revocación de permisos por incumplimiento de las fracciones I-III del Art. 93
95	Inspecciones de las descargas de agua residual con objeto de verificar el cumplimiento de la Ley
96	Cumplimiento de la normatividad, condiciones y disposiciones que se desprendan de esta Ley

(Ley de Aguas Nacionales, 1992)

3.3 Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Creada en 1988, se enfoca principalmente en ordenar la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, señalando que estos dos aspectos (prevención y control) son fundamentales para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país; enfatiza la responsabilidad compartida entre el Estado y la sociedad para prevenir la contaminación de las aguas superficiales y las del subsuelo, así como la utilización de las aguas en las diferentes actividades productivas susceptibles de producir contaminación. **(Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1988).**

Conlleva una gran responsabilidad el tratar el agua residual que se generen de tal forma que puedan ser utilizadas en otras actividades y se mantenga el equilibrio de los ecosistemas. **(Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1988)**. Además, establece que el agua residual debe recibir tratamiento previo a su descarga a los diferentes cuerpos receptores y SEMARNAT es la encargada de su cumplimiento por medio de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). **(Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1988)**.

En su título tercero nombrado Aprovechamiento Sustentable de los Elementos Naturales, en su capítulo tercero artículos 117 a 133, habla de la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos. **(Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1988)**.

3.4 Ley del Agua para el Estado de Jalisco

Regula la explotación, uso, aprovechamiento, preservación y reúso del agua; la distribución, control y valoración de los recursos hídricos y la conservación, protección y preservación de su cantidad y calidad en términos del desarrollo sostenible de la entidad. **(Ley del Agua para el Estado de Jalisco y sus Municipios, 2007)**.

En su Art. 23, Fracción XXV, establece como atribuciones de la Comisión la promoción del tratamiento del agua residual y su disposición, así como el anejo de lodos y otros sólidos resultantes del tratamiento o adecuación de las aguas servidas; mientras que la Fracción XXXIV del mismo artículo, establece distritos de control para combatir la contaminación del agua y exigir el tratamiento del agua residual y manejo de lodos, a quienes utilicen y contaminen los recursos hídricos del Estado con motivo de su operación o durante sus procesos productivos y descarguen al alcantarillado o a cualquier cuerpo receptor. **(Ley del Agua para el Estado de Jalisco y sus Municipios, 2007)**.

3.5 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Son regulaciones técnicas de carácter obligatorio que sustentan los productos, procesos o servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para las personas, animales y vegetales, así como para el medio ambiente en general. **(Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 1992)**.

3.5.1 NOM-001-ECOL-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual a aguas y bienes nacionales. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)**.

Especificaciones

1. Establece la concentración de los contaminantes básicos y tóxicos para las descargas de agua residual a aguas y bienes nacionales como ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras, suelo y humedales naturales; donde las concentraciones de los contaminantes pueden variar dependiendo del uso del cuerpo receptor; la tabla 3.2 Muestra los límites máximos permisibles par contaminantes básicos, mientras que la tabla 3.3 Muestra los límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

Tabla 3.2 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBASES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO					
	Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola (A)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso Público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura *C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/1)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	NA	NA	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA	NA
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente Según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A. = No es aplicable (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)

Tabla 3.3 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
(miligramos por litro)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	1.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.5	0.5	1.0	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	1.0	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total

P.D= Promedio Diario, P.M.= Promedio Mensual; N: A:= No es aplicable

(A), (B) y (C); Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)

2. El límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de agua residual vertidas a cuerpos receptores, así como descargas vertidas al suelo, es de 1000 y 2000 el número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

3. Para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), el límite máximo permisible de huevos de helmintos para riego restringido es de 5 por litro; para riego irrestricto es de uno por litro. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

4. El rango permisible de pH es de 5 a 10 unidades. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

3.5.2 NOM-002-ECOL-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual a los sistemas de alcantarillado. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

Especificaciones

1. La concentración de contaminantes en las descargas de agua residual a los sistemas de alcantarillado, no debe ser superior como indica la tabla 3.4. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

Tabla 3.4 Límites máximos permisibles para descargas en alcantarillado

Límites máximos permisibles			
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)

2. Las unidades de pH no deben ser mayores de 10 ni menores de 6, mediante medición instantánea. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

3. El límite máximo permisible de temperatura es de 40°C, mediante medición instantánea; se permitirán descargas a temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre al municipio que esté a cargo del alcantarillado correspondiente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

4. No se deberán descargar al alcantarillado residuos o sustancias considerados peligrosos, conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

5. Los municipios podrán fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de agua residual a los sistemas de alcantarillado de manera individual o colectiva. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

3.5.3 NOM-003-ECOL-1997

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el agua residual tratada que se reúse en servicios al público. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

Especificaciones

1. Las entidades públicas son responsables de su tratamiento y reúso; en caso de que el tratamiento se realice por terceros, serán responsables del cumplimiento de esta norma desde la producción del agua tratada hasta su reúso incluyendo la conducción misma. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

2. Los límites máximos permisibles se establecen en función del tipo de reúso que pueden ser servicios al público con contacto directo o con contacto indirecto y ocasional. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

- Contacto directo: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**
- Contacto indirecto u ocasional: tiene acceso restringido ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia, se incluyen riego de jardines y camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos y panteones. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

3. La tabla 3.5 Presenta los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en esta norma. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

Tabla 3.5 Límites máximos permisibles de contaminantes según el tipo de reúso

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

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)

4. La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

5. No deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos establecidos en la columna correspondiente a embalses naturales y artificiales con

uso de suelo agrícola de la NOM-001-ECOL-1996. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

6. Las entidades responsables del tratamiento del agua residual que se reúsen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas y conservar, por lo menos durante los últimos tres años los registros correspondientes. **(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).**

3.6 Normas Mexicanas (NMX)

Son regulaciones técnicas elaboradas por un organismo nacional de normalización o la Secretaría de Economía y establecen los requisitos mínimos de calidad de los productos y servicios con el objetivo de proteger y orientar al consumidor; su aplicación es voluntaria a excepción de que los particulares manifiesten que sus productos o servicios son conformes a las mismas y cuando en una Norma Oficial Mexicana (NOM) se requiera la observancia de una Norma Mexicana (NMX) para fines determinados; en la tabla 3.6 se resumen las Normas Mexicanas aplicables al Tratamiento de Agua Residual. **(Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 1992)**

Tabla 3.6 Normas Mexicanas en materia de tratamiento de agua residual

NORMA MEXICANA	TÍTULO
NMX-AA-003	Muestreo en agua residual
NMX-AA-004	Determinación de sólidos sedimentables en agua residual (Método del cono Imhoff)
NMX-AA-005	Determinación de grasas y aceites (Método de extracción soxhlet)
NMX-AA-006	Determinación de materia flotante (Método visual con malla específica)
NMX-AA-007	Determinación de la temperatura (Método visual con termómetro)
NMX-AA-008	Determinación de pH (Método potenciométrico)
NMX-AA-026	Determinación de nitrógeno total (Método Kjeldahl)
NMX-AA-028	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (Método de incubación por diluciones)
NMX-AA-029	Determinación de fósforo total (Métodos espectrofotométricos)
NMX-AA-034	Determinación de sólidos en agua (Método gravimétrico)
NMX-AA-042	Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales (Método de tubos múltiples de fermentación)
NMX-AA-044	Determinación de cromo hexavalente (Método colorimétrico)
NMX-AA-046	Determinación de arsénico en agua (Método espectrofotométrico)

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)

Continuación tabla 2.4

NORMA MEXICANA	TÍTULO
NMX-AA-051	Determinación de metales (Método espectrofotométrico de absorción atómica)
NMX-AA-057	Determinación de plomo (Método de la ditizona)
NMX-AA-058	Determinación de cianuros (Método colorimétrico y titulométrico)
NMX-AA-060	Determinación de cadmio (Método de la ditizona)
NMX-AA-064	Determinación de mercurio (Método de la ditizona)
NMX-AA-066	Determinación de cobre (Método de la neocuproína)
NMX-AA-076	Determinación de níquel
NMX-AA-078	Determinación de zinc (Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica)
NMX-AA-079	Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina)
NMX-AA-102	Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y Escherichia Coli presuntiva (Método de filtración en membrana)

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014)

Capítulo 4. Caso de estudio

De acuerdo a la NOM-006-SCFI-2012, el tequila se define como “una bebida alcohólica regional obtenida por destilación de mostos, preparados directa y originalmente del material extraído, en las instalaciones de la fábrica de un Productor Autorizado la cual debe estar ubicada en el territorio comprendido en la Declaración, derivados de las cabezas de Agave tequilana weber variedad azul, previa o posteriormente hidrolizadas o cocidas, y sometidos a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no, siendo susceptibles los mostos de ser enriquecidos y mezclados conjuntamente en la formulación con otros azúcares hasta en una proporción no mayor de 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa, en los términos establecidos por esta NOM y en la inteligencia que no están permitidas las mezclas en frío; el Tequila es un líquido que, de acuerdo a su clase, es incoloro o coloreado cuando es madurado o cuando es abocado sin madurarlo.” **(NOM-006-SCFI-2012, 2012)**

4.1 La Industria Tequilera en México

El tequila es un aguardiente elaborado en una pequeña región de México que produce a partir de la destilación del mosto fermentado obtenido del corazón de una planta conocida como *agave azul*. **(Consejo Regulador de Tequila A.C., 2009)**. A este corazón de la planta, semejante a una gigantesca piña, se le denomina también *mezcal*; el tequila trata de una mezcla de dos mundos, un producto mestizo, pues utiliza una técnica originaria del continente europeo para transformar una materia prima muy antigua y característica de la tierra americana como el agave. **(Consejo Regulador de Tequila A.C., 2009)**.

En México, existen cerca de doscientos diferentes tipos de agave y de ellos se obtienen otras bebidas aguardientosas similares al tequila; estas reciben el nombre genérico de mezcal y toman el apellido de la población en donde nacen, así se puede obtener un mezcal de Oaxaca, mezcal de Tonaya, mezcal de Apulco, entre otros, sin embargo, el más popular en México y reconocido mundialmente es el mezcal de Tequila, cuyo nombre proviene de una antigua región ubicada en el estado de Jalisco, cerca de Guadalajara. **(Consejo Regulador de Tequila A.C., 2009)**.

La historia del Tequila se remonta hacia el siglo XVI, cuando algún español al ver la abundancia de los agaves de la región empezó a experimentar e iniciar con la fabricación y producción del mezcal en tierras de la región de Tequila que es una de las regiones donde abunda el agave azul. **(Consejo Regulador de Tequila A.C., 2009)**. Además, esta planta constituía un enorme valor para la vida de los habitantes de estas regiones, pues las hojas de la planta eran aprovechadas para construir techumbres, fabricar agujas, punzones, alfileres y clavos, cuerdas, elaborar papel y algunos recipientes, además de utilizar las pencas como combustible, sus cenizas también se utilizaban como jabón, lejía o detergente y su savia para la curación de heridas. **(Consejo Regulador de Tequila A.C., 2009)**.

Los historiadores coinciden que es probable que una vez conocido, los antiguos habitantes de la región lo emplearon como golosina y que, al percibir su altísimo contenido de azúcares, los españoles de garganta más ansiosa hayan discurrido su destilación, pero ese descubrimiento no fue precisamente aplaudido por las autoridades. **(Macías, A., 2001).**

Los terrenos que se encontraban en el camino que separa la ciudad de Guadalajara hacia el puerto de San Blas en el estado de Nayarit (ubicado en la costa del Pacífico), correspondían al Corregimiento de Tequila, pues se daba el agave azul en perfectas condiciones; existían paisajes llenos de cultivos de agave (figura 4.1) y fue así como en esa ruta se logró encontrar pequeñas y grandes fábricas de Tequila, licor conocido antes de la simplificación publicitaria como “Vino de mezcal de Tequila”. **(Consejo Regulador de Tequila A.C., 2009).**



Figura 4.1 Cultivo de agave en México

Cuando los españoles comenzaron a producirlo para consumo propio en vez de consumir los vinos y aguardientes importados de España, el gobierno prohibió la fabricación de productos americanos que hicieran competencia a los provenientes de aquella región; sin embargo, la producción continuó clandestinamente, desde el cultivo hasta la obtención del mezcal. **(Consejo Regulador de Tequila, 2009).**

A mediados del Siglo XVII el gobierno de la colonia entró en crisis y dado el volumen de producción que se alcanzaba y la necesidad del gobierno de obtener recursos, se optó por autorizar y cobrar un impuesto a la producción del tequila. Gracias a ello, el gobierno pudo mantener obras de infraestructura importantes como el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Guadalajara e incluso la construcción del palacio municipal que hoy en día ocupan los gobernantes de esa entidad. **(González, A., 2006).**

Durante el siglo XVIII, el puerto de San Blas cobró cierta importancia, pues desde ahí se abastecían a las nuevas colonias españolas en noroeste de México y debido a que, en esa región de camino a San Blas, se producía bastante tequila, el Vino Mezcal de esta Tierra se convirtió en el primer producto elaborado de exportación del estado de Jalisco. **(González, A., 2006).**

El mezcal de Tequila ayudó a los españoles a sobrellevar las soledades de aquellas tierras; jesuitas y franciscanos que llegaron poco tiempo después y sobre todo a los indígenas colonizados fueron los principales consumidores del licor, pues los historiadores mencionan que se embriagaban para soportar con mayor resignación y paciencia la catequización y el sometimiento a un régimen de vida muy diferente al que estaban habituados. **(González, A., 2006).**

Al término del Siglo XVIII, el tequila se volvió popular entre los trabajadores obreros de las minas de Bolaños que se encontraban cerca de Tequila y que prospero su producción y fabricación de este licor. Así la agroindustria se intensificó en esta región, así como en Amatitán, Arenal, Teuchitlán, Zapopan y Magdalena. **(González, A., 2006).**

Con la consumación de la Independencia en 1821, los licores españoles empezaron a tener mayores dificultades para llegar a México, lo cual dio oportunidad a que los fabricantes de tequila incrementasen sus ventas en la misma Guadalajara e iniciaran su comercialización en la Ciudad de México y todo el centro del país. Al acercarse la primera mitad del siglo XIX, algunas tahonas habían adquirido cierta importancia y los productores empezaban a ejercer ya una notable influencia política; para ese entonces existían doce ranchos y haciendas en Tequila (figura 4.2) y doce en Amatitán que producían este licor. **(González, A., 2006).**

Fue entonces cuando, de nueva cuenta, gracias a su fácil acceso al puerto de San Blas, fue posible que la venta de tequila aumentara otra vez; ahora con cargo a los buscadores y explotadores del oro, el cual desde 1849 empezó a descubrirse en la Alta California sin importar que, justamente un año antes, esta tierra sería perdida por México junto con Nuevo México y Texas. Fue entonces en 1857 cuando se produjo en México la gran guerra civil que acabaría por liquidar el viejo orden social heredado de la dominación española, los productores de tequila tenían ya conciencia de lo que convenía a su industria y no dudaron en apoyar a los liberales hasta que éstos alcanzaron el triunfo. **(González, A., 2006).**



Figura 4.2 Plantación de agave en Tequila

(Urzúa, 2010)

Sin embargo, al finalizar el siglo XIX y comenzar el XX el tequila tuvo como su principal enemigo al ferrocarril norteamericano que llevaba con facilidad los aguardientes europeos de costa a costa, además de la preferencia por todo lo francés que sentía la clase alta mexicana, impulsado por el presidente Porfirio Díaz. **(González, A., 2006).**

Derrumbada en 1911 la dictadura encabezada por el general Porfirio Díaz con la llegada de la Revolución Mexicana, fue entonces cuando se predijo una nueva actitud que redundó en favor del tequila. El enfrentamiento pasó por igual a ser del pasado y el país entero se volcó a buscar expresiones y costumbres con el fin fortalecer la nacionalidad mexicana. **(González, A., 2006).**

El beber tequila en vez de otros aguardientes importados fue uno de los gestos más notables de la población mexicana, hartos de intervenciones de extranjeros y con un amplio sentido nacionalista; pero todavía fueron más allá, pues el propio gobierno favoreció a conciencia una imagen del tequila casi como un símbolo del mismísimo Estado Nacional. Por una razón u otra, el tequila se considera ahora la bebida alcohólica "mexicana por excelencia". **(González, A., 2006).**

También contribuyó sobremedida a este fin la industria cinematográfica mexicana, exitosa en los años treinta y cuarenta, creando un estereotipo falso del hacer y ser de los mexicanos. El cine, como muchas canciones entonces en boca de todos, tuvo mucho que ver con la creciente fama de la bebida. Ayudó también que el decir popular hubiera convertido al tequila en la mejor medicina contra una epidemia de influenza española, la cual azotó al norte de México alrededor de 1930, y que, para atender la demanda, se haya podido disponer de pequeñas botellas fabricadas en la industriosa ciudad de Monterrey, en vez de tener que distribuir la mercancía a granel en incómodas barricas. **(González, A., 2006).**

Así mismo, el auge petrolero producido en ese tiempo en la costa del Golfo de México, pudo incentivar el consumo de tequila gracias a los cilíndricos envases de medio litro, fáciles de manejar y transportar -incluso en la bolsa trasera de los holgados pantalones que se estilaban entonces-, y que tanto se vieron después en las pantallas de los cinematógrafos. **(González, A., 2006).**

A partir de 1940 la industria del tequila estuvo lista, para suplir al whisky, el cual dejaría de llegar a Estados Unidos debido a la segunda guerra mundial. La exportación de tequila alcanzó entonces niveles insospechados. No obstante, también resultó vertiginosa la caída de las ventas al sobrevenir el armisticio, y hubo que hacer un gran esfuerzo por incrementar el mercado interno y buscar el consumo en Europa y Sudamérica. **(Consejo Regulador de Tequila, 2009).**

En 1950 la producción de tequila gozó de mejoras técnicas considerables. Muchas fábricas, sin dejar de lado calidad, alcanzaron índices altos de rendimiento e higiene, además de que algunas marcas resultaron más accesibles a las al gusto nacional por ser de menos

graduación. Por otro lado, se descubrió también que la región apta para cosechar el agave azul podía ser mayor, sin perjuicio del producto, de manera que el crecimiento del mercado logrado después pudo ser atendido debidamente; en 1959 se constituye la Cámara Regional (hoy nacional) de la Industria Tequilera. **(Consejo Regulador de Tequila, 2009).**

En 1994 nace el Consejo Regulador del Tequila A.C., una organización interprofesional donde se conjuntan todos los actores y agentes productivos ligados a la elaboración del tequila con el fin de promover la identidad y calidad de esta bebida. Hoy día los campos agaveros, con su fisonomía tan característica, comprenden una gran franja central del paisaje jalisciense; en tanto que, de una manera directa o indirecta, la industria compromete a unas 300,000 personas, orgullosas todas ellas de participar en la fabricación de un producto implicado de manera profunda en la vida de la región occidental de México, y satisfecha de ofrecer una bebida cabalmente mexicana a los demás habitantes del mundo. **(Consejo Regulador de Tequila, 2009).**

En los inicios del Siglo XXI existían 88 empresas productoras de tequila de las cuáles 10 tenían inversión extranjera. Así, la industria del tequila creció en 5 años (1995-2000) en su consumo de agave un 148.21 % sólo para la elaboración de tequila 100% agave representando una línea de crecimiento importante tanto para el consumo local como extranjero. **(Consejo Regulador de Tequila, 2009).**

Actualmente, el tequila es una bebida mexicana protegida por la denominación de origen, el cuál abarca todo el estado de Jalisco, veintinueve municipios de Michoacán, seis del estado de Guanajuato, siete de Nayarit y diez de Tamaulipas. **(Macías, A., 2001).** Sin embargo, es una bebida eminentemente jalisciense ya que ahí emplea el 80.9% de los trabajadores y genera el 98.58% del valor agregado. **(Macías, A., 2001).**

4.2 Proceso de Producción del Tequila

El tequila es una de las bebidas más famosas a nivel nacional y mundial que se obtiene de la planta Agave tequilana Weber, mejor conocido como Agave Azul; la parte de la planta que es utilizada para la elaboración del tequila es la piña y una vez que las piñas son cortadas, se llevan a un horno en donde se realiza la operación del cocimiento; éste tiene la finalidad de degradar los azúcares complejos presentes en la piña en azúcares simples para que puedan ser utilizados por la levadura en la operación de fermentación. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J., & Parra, L., 2001).** El principal carbohidrato complejo presente en el agave es la inulina, el cual es un polímero de fructosa con un residuo terminal de glucosa; cuando la inulina se degrada por la acción de la acidez del jugo y del calor en el cocimiento, se obtienen principalmente fructosa y glucosa; en seguida, se muelen las piñas para extraer el jugo que es colocado en tinas y es inoculado con un cultivo de levadura, responsable de la fermentación de los azúcares presentes en el jugo. Después el fermentado se destila, para obtener etanol y vinazas (mezcla de levaduras muertas,

azúcares no fermentables y minerales); el tequila puede ser envasado inmediatamente después de la destilación o puede añejarse en barricas de madera, las que le confieren las características de sabor y color. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J., & Parra, L., 2001).**

4.2.1 Agave

Desde hace algunos años, se ha llevado a cabo una importante mejoría en la innovación de tecnologías en cuanto al manejo agrícola, y la industria tequilera ha formado parte de este nuevo régimen para la optimización de los procesos para la obtención de mejor materia prima y a su vez estandarizar sus productos, incluso se han utilizado *plantas micropropagadas* con el fin de asegurar la sanidad de las plantas, así como reducir la heterogeneidad en el tamaño de las mismas. **(Rubio, 2017).**

La micropopagación es un proceso que se lleva a cabo en un laboratorio donde se seleccionan los hijuelos con alto vigor y aparentemente sanos, provenientes de plantas visualmente sanas; estos se cortan y se seleccionan pequeños trozos tiernos y mediante técnicas especializadas se reproducen plantas libres de patógenos y plagas, cuando salen del proceso que, a diferencia de otros sistemas de cultivo, las plantas micropropagadas responden desde el momento en que son establecidas en el campo, por lo que llegan a mostrar un mayor potencial de crecimiento. **(Rubio, 2017).**

Junto con las plantadoras, se seleccionan los mejores productos herbicidas, así como la selección de los procedimientos que reduzcan el uso de los mismos; esto se logra con aditamentos y boquillas adecuados para dirigir la aplicación de los productos a las áreas objetivo; además, la germinación de semillas de maleza, que puede interferir con la maduración de la planta, esto se logra con la aplicación de herbicidas pre-emergentes. **(Rubio, 2017).**

Se han llevado a cabo estudios que permitan entender la cantidad de nutrientes que la planta requiere para su desarrollo, así como los efectos que puede tener el pH del suelo sobre la absorción de esos nutrientes y la forma en que pueden y deberían aplicarse; con estos estudios, se han diseñado mezclas físicas que cubran la necesidad para cada ciclo de cultivo; esto hace más eficiente el aporte de los nutrientes de acuerdo al pH del suelo y a la edad del cultivo. **(Rubio, 2017).**

Una vez llegada la cosecha del agave, las piñas de agave (figura 4.3) se transportan a las industrias donde se hace un muestreo de los lotes para determinar el total de azúcares a través de un método de titulación. **(Rubio, 2017).**



Figura 4.3 Obtención de las piñas de agave

(Rubio, 2017)

Una vez que las piñas han llegado a la fábrica, se realiza el cocimiento en hornos de paredes de ladrillo que es el proceso tradicional o en autoclaves; en este proceso, los jugos ácidos ricos en carbohidratos de las piñas se convierten en jugos con altas concentraciones de azúcares fermentables. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

4.2.4 Cocimiento

Los azúcares contenidos en el agave, como la inulina, son compuestos complejos que deben ser transformados en azúcares fermentables por un proceso de hidrólisis; esto toma hasta 6 horas para completar la conversión de inulinas en fructosa y glucosa y, siempre se realiza siempre con vapor de agua a presión ya sea mediante los tradicionales hornos de mampostería o en autoclaves. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

El agave puede someterse a cocción fragmentado en pequeñas partes o cabezas de piña enteras. Generalmente se cuecen las mitades de cabeza que son partidas manualmente con hachas; al terminar el cocimiento el material cocido se transporta a molinos o desgarradores donde se corta en pequeños pedazos de algunos centímetros. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

4.2.2 Desgarrado del Agave

El jugo de las piñas cocidas se extrae mediante el desgarramiento de la pulpa con una máquina desgarradora y luego prensada en moliendas. Generalmente se añade un poco de agua para facilitar la extracción de los azúcares y se puede realizar mediante tahonas (método tradicional) o moliendas mecánicas. **(Nájar, R., 2017a).**

- Molienda de agave en la tahona. Como se muestra en la figura 4.4, la fibra del agave previamente cocido es expuesta al suelo en una tinaja de piedra o concreto donde a través de una piedra en forma de rueda se prensan estas fibras; este es el proceso más antiguo y por ella uno con mayores desventajas, siendo el principal, que se lleva a cabo al aire libre: además, la superficie donde se lleva a cabo el prensado no es una superficie lisa ni uniforme que sea de fácil limpieza, sin embargo, la piedra y el concreto son materiales porosos que pueden almacenar agentes contaminantes difíciles de eliminar. **(Nájar, R., 2017b).**



Figura 4.4 Molienda de agave en tahona

(Nájar, R., 2017b)

- Molienda del agave a través de molino. Se utiliza un mecanismo de motores eléctricos de presión con rodillos metálicos que hace que la fibra del agave suelte su jugo, sin embargo, una excesiva presión puede extraer notas amargas que afectan al producto terminado a nivel sensorial; por esa razón se cose el agave previamente en hornos o autoclaves y después se desgarran. **(Nájar, R., 2017b).**

4.2.3 Extracción

Partiendo de que el mejor disolvente para el azúcar es el agua, el principio de extracción se hace por medio de la difusión de agua a través de las fibras del agave, que se lleva a cabo por un equipo llamado difusor. **(Nuñez, R., 2017).**

El difusor permite extraer los azúcares del agave de una manera suave; para esto es importante que la materia prima tenga una preparación previa a la extracción, de tal forma que la fibra de agave quede expuesta y lo más abierta que se pueda para que una vez que entre en contacto con el agua se pueda extraer la máxima cantidad posible de los azúcares contenidos en la misma. **(Nuñez, R., 2017).**

En este proceso, no se cuece previamente el agave, sino que se procesa crudo; se desgarran la piña completa para tener sus fibras con la máxima exposición y se alimenta el difusor (figura 4.5) donde a contracorriente circula un flujo con agua caliente que al penetrar en las fibras va extrayendo el azúcar contenido en ellas; el resultado es un jugo altamente concentrado en azúcar que se recoge en una tina, posteriormente este jugo azucarado, se bombea hacia la siguiente etapa y el proceso se repite hasta que el jugo alcanza la concentración máxima o deseada y, finalmente del proceso del difusor, se extrae el agua al bagazo a través de un molino. **(Nuñez, R., 2017).**



Figura 4.5 Difusor para extracción del jugo del agave

(Nuñez, R., 2017)

4.2.5 Fermentación

La fermentación anaerobia se lleva a cabo en tanques de acero inoxidable usando una mezcla propia de levaduras y nutrientes. Cada tanque dura de 24 a 28 horas con temperaturas que varían de un inicio de 32°C y termina hasta 37°C; el proceso de fermentación varía de acuerdo a los estándares de cada industrial, en algunos es más rápido y limpio ya que cuenta con tanques totalmente cerrados y un sistema para limpieza automatizado que garantiza la inocuidad del producto; es así como las cepas tequileras pueden considerar diferentes tipos de adiestramiento y desarrollo que están sujetas por cada industria tequilera y comúnmente suelen ser el secreto industrial de cada proceso. **(Valenzuela, A., 2003)**

La fermentación puede ser espontánea sin agregar ningún inóculo y en otros casos se inocula una cepa de la levadura crecidas bajo condiciones controladas que son responsables de que los azúcares se transformen en gas carbónico y alcohol. Esta operación puede durar

de 2 a 7 días a una temperatura de 25 a 30°C y se concluye hasta que se han agotado los azúcares. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

4.2.6 Destilación

Es el procedimiento por el cual los fermentos son separados, mediante calor y presión, en productos de riqueza alcohólica y vinazas; estas últimas constituyen un producto de desecho. A las vinazas también se les llama lodos de fermentación y están compuestas por agua y levaduras principalmente. Los puntos de ebullición de los diferentes compuestos y los diversos volúmenes y presiones de los equipos de destilación ayudan a la separación de gases que se condensan en productos de mayor riqueza alcohólica. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**



Figura 4.6 Alambiques para destilación

(Sánchez, E., 2018)

Se efectúa en alambiques de cobre mediante un sistema de destilación que se conoce como destrozamiento, donde se separan las vinazas que son el medio agotado en el alcohol y que contienen todos los sólidos como levaduras muertas, azúcares no fermentables y minerales, además de otros componentes como aldehídos y cetonas obteniendo un alcohol de baja graduación; en esta primera destilación se elimina agua y se concentra el alcohol del mosto fermentado. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

La segunda destilación, llamada de “rectificación”, concentra el alcohol etílico y lo purifica de otros alcoholes. En este proceso se separan los compuestos más volátiles que el etanol, principalmente el metanol, nocivo para el ser humano. Dependiendo de la marca la segunda destilación se hace en alambiques (figura 4.6) para obtener un tequila con un rango de alcohol entre 55-65%. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

Además de las vinazas, existen otros subproductos del inicio y final de la destilación conocida como “cabezas” y “colas” que son fuertes solventes orgánicos que deben ser controlados por la industria. Cabe mencionar que los subproductos de la destilación se deben de tratar en una Planta de Tratamiento de Agua Residual, para un cumplimiento total de las normas ambientales. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

4.2.7 Filtración

La filtración es el proceso de separación de partículas sólidas presentes en el tequila y se debe tener especial cuidado con el medio filtrante que se utilizará pues se deben conservar

el perfil del tequila como los aromas, el cuerpo y la apariencia que le son propios y que permiten identificar al producto. **(Padilla, A., 2018).**

Generalmente se utilizan como medios filtrantes placas de celulosa, placas de carbón, filtros bolsa o filtros de cartucho. **(Padilla, A., 2018).** Estos medios garantizan que el producto cumpla las características que se requieren para proseguir con el envasado o añejamiento del producto. **(Padilla, A., 2018).**

4.2.8 Añejamiento

La finalidad del añejamiento es conferirle al tequila el color y buquet (aroma y sabor) característico; los tequilas reposados son madurados en contenedores de madera o barricas de roble blanco o encino al menos 2 meses, mientras que los tequilas añejos se maduran al menos 12 meses en barricas (Figura 4.7) de roble blanco, y los tequilas extra añejos reposan al menos 36 meses en barricas de roble blanco. **(Bautista, M., García, L., Barbosa, J. & Parra, L., 2001).**

Todos los contenedores y barricas de madera están hechos de roble blanco americano con un tostado que cumple con las especificaciones de cada casa tequilera y que son usados sólo para cada uno de los procesos de añejamiento. **(Rivera, O., 2018).**



Figura 4.7 Barricas de añejamiento

4.2.9 Ensamble y Control de Calidad

Mediante los análisis cromatográficos y químicos en el laboratorio se confirma la presencia o ausencia de niveles altos de sustancias nocivas como el metanol que pueden estar presente en el tequila; además se supervisan la uniformidad y pureza de los elementos que integran el producto, basando las especificaciones fisicoquímicas que especifica la norma NOM-006-SCFI-1994.

Finalmente, se ajusta el contenido alcohólico de 38 a 40° y es filtrado para separar algunas partículas provenientes de las barricas y se hacen pruebas para asegurar la consistencia en el perfil conforme a los estándares de cada casa productora de tequila. Algunas empresas cuentan con certificaciones como GMOs (sin organismos genéticamente modificados), libres de gluten o con certificado Kosher.

Además de los parámetros antes mencionados, existen cuerpos de catado formales o informales en cada empresa. En ocasiones estos son constituidos por la familia tradicional productora de tequila, en otros existen cuerpos de catado que han sido capacitados para este fin.

4.3 Problemática Ambiental

La industria consume materias primas que se transforman en productos acabados usando energía y produciendo residuos; para lo cual necesitan agua al punto de que la ubicación de muchas industrias está condicionada por la necesidad de disponer de un aprovisionamiento de agua próximo, con la intención de disponer del agua para consumo y para deshacerse de sus residuos. **(Seoáñez, M., 2012).**

La mayoría de las industrias consumidoras de agua, que son casi todas, una vez que han utilizado esta agua, la vierten cargada de agentes contaminantes; estos contaminantes, son de naturaleza diversa, como la materia orgánica de las industrias agroalimentarias o los diferentes productos químicos que utiliza la industria para la limpieza de sus equipos e instalaciones y la que representa un impacto ecológico importante como la descarga de agua recalentada procedente de algunos procesos, entre otros. **(Seoáñez, M., 2012).**

En la mayoría de los casos los vertidos industriales representan un riesgo potencial para el medio ambiente debido a la carga contaminante que llevan, en algunos casos contaminados con sustancias no biodegradables y que precisan de un tratamiento previo intenso. El impacto ambiental industrial que enlista *Seoáñez, M., 2012*, entre otros, son los siguientes:

- Sobreexplotación de los recursos utilizados por la industria, como extracción de materia prima.
- Consumo acelerado de agua y energía.
- Sustitución del ecosistema natural y creación del ecosistema industrial
- Extinción de especies animales y vegetales como consecuencia de la actividad industrial.
- Destrucción de biocenosis completas.
- Modificación de las características del suelo.
- Alteraciones del equilibrio hidrológico y deterioro de la calidad del agua.
- Modificaciones del paisaje por deterioro estético y la calidad visual del medio.
- Deterioro de la salud humana (enfermedades respiratorias, cáncer, etc.).
- Riesgos elevados de accidentes y siniestros (incendios, explosiones, fugas, escapes, dispersiones, etc.).

- Ruidos y vibraciones.
- Olores.
- Impactos urbanos a las vías de comunicación.
- Contaminación del aire.
- Contaminación del agua.
- Contaminación del suelo.
- Contaminación por residuos sólidos.
- Contaminación de residuos peligrosos.

La industria tequilera, se clasifica principalmente dentro del generador de residuos industriales líquidos con constituyentes orgánicos. La carga orgánica de este tipo de efluente puede ser muy variada dependiendo del proceso industrial que se aplique para la obtención de su producto final, sin embargo, existen determinadas sustancias orgánicas como las vinazas y el bagazo del agave, por lo tanto surge la necesidad de un control estricto que asegure su correcto tratamiento antes de ser descargado. Además, este tipo de agua residual puede contener otros compuestos inorgánicos o compuestos sintéticos, sin dejar de mencionar la contaminación por temperatura que representa un peligro para la flora y fauna acuática. **(Ramos, J.J., 2017).**

Se estima que, para producir un litro de tequila, se genera entre siete y ocho kilogramos de agave, los cuales se convierten en cinco kg de bagazo/base húmeda (residuo), una vez extraído el jugo; y por cada litro de tequila producido, se genera, en promedio, diez litros de vinaza. **(Gallardo, J., s.f.).**

El agua rica en contaminantes después de ser utilizada en la industria, es vertida en los cuerpos receptores y este a su vez es alterado llegando a ocasionar graves problemas en su equilibrio. **(Ramos, J.J., 2017).**

Tabla 4.1 Efectos de algunos contaminantes provenientes de la industria tequilera

Parámetro	Efectos
Materiales sólidos	La presencia de materia sólida en disolución y suspensión le confiere un grado de turbidez que puede impedir el paso de luz ocasionando desequilibrio ecológico.
Temperatura	afecta el grado de solubilidad, velocidad y rendimiento de reacciones químicas y biológicas,
Olor y Sabor	Presencia de determinadas sustancias y compuestos químicos como cloro y amoníaco, materia orgánica en proceso de descomposición
Sales inorgánicas	Aumenta o disminuye la dureza del agua

(Seoáñez, M., 2012)

Continuación tabla 4.1

Parámetro	Efectos
Acidez y alcalinidad	Mal rendimiento de los microorganismos para degradar la materia
Contaminantes inorgánicos	Puede contener sustancias que son tóxicas (aun en bajas concentraciones) para especies animales y vegetales. Presencia de cloro, desinfectante más utilizado que puede ser tóxica.
Materia orgánica	Requiere grandes cantidades de oxígeno que se pueden consumir rápidamente siendo peligro para la vida animal y vegetal.
Alteraciones biológicas	Desequilibrio por aumento de microorganismos presentes en la descarga. Exceso de protozoos que se alimentan de las bacterias.

(Seoáñez, M., 2012)

Los efectos ecológicos de los residuos de las descargas de agua residual además de afectar los cuerpos receptores de agua superficiales, también se ven afectados y contaminados los suelos, las aguas subterráneas, otros cuerpos de agua superficiales, así como especies animales y vegetales y por supuesto, el ser humano. **(Seoáñez, M., 2012).**

La actividad industrial en general, implica la generación de residuos que, si no son recuperados y reutilizados, se convierten en contaminantes susceptibles de producir daños sobre la naturaleza, alterando la abundancia y los tipos de especies vivas, perturbando los sistemas físicos y biológicos, y modificando los niveles de radiación y de reparto de energía. **(Seoáñez, M., 2012).**

La autodepuración de un ecosistema para asimilar los contaminantes depende de sus propias características y de la naturaleza, tipo y concentración de dichos contaminantes. Sin embargo, la nocividad de la contaminación sobre los ecosistemas y sobre la vida que en ellos se desarrolla depende además de otros parámetros como son: la facilidad de dispersión de los contaminantes, que llegan a desplazarse a grandes distancias, alterando ecosistemas lejanos; e incluso es posible que los contaminantes lleguen a transformarse en otras más peligrosas o dañinas; finalmente puede presentarse la acción conjunta y simultánea de varios contaminantes y determinados factores ambientales y sus posibles efectos aditivos, acumulativos o sinérgicos. **(Seoáñez, M., 2012).**

4.3.1 Efectos Sobre el Agua

Los vertidos a cursos y masas de agua producen modificaciones en los ecosistemas de tal forma que si la perturbación es excesiva sobreviven sólo los organismos más resistentes donde el resultado es un cambio en la composición de las biocenosis, limitándose el número de especies de todo tipo sobre todo las poblaciones bacterianas. **(Seoáñez, M., 2012).**

Un ecosistema acuático sufre mucho más que cualquier otro una modificación del biotopo, pues cualquier alteración de los factores internos o externos, como el pH, temperatura, etc.,

produce perturbaciones muy amplias debido a la estabilidad de estos ecosistemas; por otro lado, la regulación térmica de los organismos acuáticos es limitada y compleja, lo que hace que son muy sensibles a alteraciones notables de temperatura. **(Seoáñez, M., 2012).**

Es necesario mencionar que el agua es causa de que la reproducción de gérmenes patógenos sea pobre, debido a su bajo contenido de materia orgánica respecto de la tierra; así mismo las radiaciones solares eliminan gran cantidad de gérmenes. **(Seoáñez, M., 2012).** Por lo tanto, si se vierten cantidades elevadas de materia orgánica a un curso de agua no contaminada, aparecerá entre otras perturbaciones, cierta turbidez, lo que facilitará por una parte la protección de los gérmenes patógenos y por otra su multiplicación, es decir, se rompe la barrera ecológica que inicialmente frenaba todo proceso patógeno. **(Seoáñez, M., 2012).**

En cuanto al aporte de sales minerales, los sistemas acuáticos pueden recibir el vertido y es posible que las asimilen si no son tóxicas, lo que hará que se enriquezca la biocenosis; no obstante, es más probable que la concentración de ese vertido a los cuerpos de agua se superior a la capacidad de asimilación del ecosistema, lo que provocará perturbaciones diversas, como eutrofización y degradación del cuerpo de agua receptor. **(Seoáñez, M., 2012).**

Si se presentan vertidos de carácter tóxico, su capacidad destructora afectará en gran medida a las biocenosis presentes. **(Seoáñez, M., 2012).** Se ha observado las complejas alteraciones que puede sufrir el agua antes las constantes agresiones del ser humano, pues esas alteraciones se transmiten a los organismos presentes en ella produciendo modificaciones de todo tipo en los ecosistemas acuáticos. **(Seoáñez, M., 2012).** La actividad de los microorganismos se modifica ante las sobrecargas minerales que se vierten a las aguas, apareciendo fenómenos de eutrofización y disminución del oxígeno disuelto. **(Seoáñez, M., 2012).**

Es importante mencionar que prácticamente todas las descargas de agua residuales que provienen de la industria en el municipio de Tequila, se vierten a pequeños arroyos tributarios del río Santiago, perteneciente a la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. **(Ozorio, G., 2017).**

4.3.2 Efectos Sobre el Suelo

El vertido de agua residual industrial sobre un suelo puede originar en él una serie de alteraciones que pueden ser beneficiosas bajo ciertas condiciones. Muchos componentes del agua residual son productos que pueden mejorar la fertilidad, pues son elementos y compuestos nutrientes. Otros pueden ser problemáticos desde el punto de vista de la toxicidad. La calidad agraria del suelo puede ser también mejorada por la adición de materia orgánica. **(Seoáñez, M., 2012).**

La aplicación de agua residual industrial puede producir un aumento en el contenido de sales y metales pesados del suelo, dependiendo de la concentración, tipo de suelo, intensidad de la aplicación, modalidad del vertido, etc. Si los componentes sólidos del vertido se concentran en el suelo y si se realizan lavados frecuentes con aguas no residuales, el resultado es una baja en la concentración de estos productos en el suelo y un aumento de su presencia en los niveles piezométricos, tanto freáticos como de los acuíferos; si el exceso de sales no es lavado o absorbido de un modo u otro, aparecerá una concentración que se traducirá en una disminución de la producción vegetal, y puede llegar hasta una anulación total de los vegetales en casos extremos. **(Seoáñez, M., 2012).**

Así, la presencia de esta clase de elementos y compuestos, puede alterar la calidad de un suelo o del agua relacionada con él, por lo que antes de las aplicaciones de los vertidos residuales industriales, es de gran importancia conocer la composición de éstos y el análisis del suelo, pudiéndose conocer así, los niveles máximos del vertido admisibles bajo el punto de vista de acumulación de metales, la capacidad del suelo de hacerlos más complejos e incorporarlos en forma de fracción insoluble y no admisible por las plantas y la posible evolución futura ante aplicaciones continuas. **(Seoáñez, M., 2012).**

Además, cuando se realiza un vertido con materia orgánica, con o sin tratamiento previo, el suelo en que se vierte asimila parte del fósforo aportado y lo acumula en forma insoluble, siendo utilizado el resto por las cosechas o por los vegetales existentes. Cuando se acumula el fósforo en un suelo, se debe fundamentalmente a sus características de composición, textura y estructura. **(Seoáñez, M., 2012).**

Si el suelo es ácido, se formarán compuestos insolubles con el aluminio y con el hierro; si el suelo es básico, se formarán compuestos insolubles con calcio. El hierro y el aluminio libres presentes en las arcillas provocan fenómenos de adsorción del fósforo en las partículas de éstas, dando como resultado una concentración pequeña del fósforo soluble y concentraciones superiores en forma particular. La fijación del fósforo es superior en los suelos arcillosos a la de los suelos arenosos, debido a la menor capacidad de toxicidad, de absorción y de actividad de estos últimos. **(Seoáñez, M., 2012).**

El elemento de toxicidad más generalizado es el aluminio, y a veces el manganeso. En los suelos ácidos, el zinc y el cobre pueden ser tóxicos, y otros como el cadmio, el plomo, el mercurio, el arsénico o el cromo, pueden ser fitotóxicos si se encuentran en cantidades suficientes, teniendo en cuenta que no son indispensables para el desarrollo vegetal. **(Seoáñez, M., 2012).**

Después de la aplicación de un agua residual a un suelo, existe la posibilidad de que parte de estos residuos puedan ser transportados por la lluvia, por la nieve o por los riegos. Las aguas de lluvia pueden arrastrar consigo parte de estos líquidos residuales, y ello dependerá, entre otros factores, de las pendientes, de las características del suelo, de la cubierta vegetal y de la intensidad y época de lluvia. La capacidad de infiltración es un factor

importante junto a los otros indicadores, así como el volumen de descarga y el grado de aplicación al suelo. **(Seoáñez, M., 2012).**

El movimiento de estos productos contaminantes, disueltos o no, a través del suelo es fácil y son capaces de contaminar las aguas subterráneas a bajas concentraciones. Se considera que el nitrógeno de los nitratos es posiblemente el mayor contaminante de las aguas subterráneas, debido a que la cubierta vegetal no logra asimilar todo el nitrógeno vertido en el suelo. **(Seoáñez, M., 2012).**

El aporte continuo de agua residual procedente de las ciudades, de la industria o de las explotaciones ganaderas a los suelos puede llegar a acumular el nitrógeno de los nitratos y ciertas sales solubles. Esto puede llegar a plantear problemas ambientales por la posibilidad de poner contaminar las aguas freáticas y las aguas subterráneas en general. **(Seoáñez, M., 2012).**

Finalmente, para una presión y temperatura determinada, la permeabilidad del terreno depende de la densidad y de la viscosidad dinámica de los líquidos contaminantes; cuando mayor sea el valor de la viscosidad dinámica del fluido contaminante, menor será el valor del coeficiente de permeabilidad, que se traduce en un gasto y velocidad del flujo menor. En estudios de suelos contaminados es necesario estimar la propagación de la estela contaminante, considerando aspectos como la característica de los líquidos contaminantes, aunque un suelo presentará distintos valores de permeabilidad y velocidad real, haciendo el problema aún más complejo de estimarse. **(Seoáñez, M., 2012).**

4.3.3 Efectos Sobre la Vegetación

En la tabla 4.2 se indican los efectos básicos sobre la vegetación del exceso de ciertos elementos que puedan estar presentes en el agua residual.

Tabla 4.2 Efectos del exceso de elementos en aguas de riego sobre vegetales.

Elemento	Efectos del exceso
N	Encamado de cereales
P	Acelera la maduración
K	Equilibra posibles excesos de nitrógeno
S	Efectos externos similares a los de la contaminación atmosférica: necrosis, defoliaciones, decoloración, etc.
Fe	Interacciona con el fósforo, potasio, manganeso, cobre, zinc, molibdeno. Clorosis
Mn	Clorosis. Clorosis de férrica inducida
Zn	Desequilibrios nutricionales. Bajas de fósforo y hierro. Clorosis férrica inducida. Grandes diferencias en la respuesta de los vegetales según la especie.
Cu	Bajas en el crecimiento. Clorosis férrica inducida

(Seoáñez, M., 2012)

Continuación tabla 4.2

Elemento	Efectos del exceso
B	Necrosis foliares apicales y marginales. Defoliaciones. Diferencias de respuesta según la especie.
Cl	Decoloraciones. Enrollamiento. Necrosis marginales. Diminución del tamaño de las hojas. Diferencias de respuestas según la especie

(Seoáñez, M., 2012)

La presencia de sales o de cualquier otro agente perturbador, por lo que se refiere a los sistemas de tratamiento de aguas, provoca un problema ecológico que es el de la auxotrofia (incapacidad hereditaria de biosíntesis). Al fijarse el genoma de la especie, las vitaminas serán un factor limitante en todo lo que se refiere al grado de depuración de estos sistemas. Así pues, la auxotrofia sería el origen de la incapacidad de muchas especies de algas de colonizar biotopos pobres en vitaminas, lo que causará las bajas en el rendimiento típicas en muchos sistemas biológicos de tratamientos de agua residual que se trata fundamentalmente de las lagunas de estabilización y de las masas que tratan agua residual. Por tanto, si los agentes contaminantes destruyen las vitaminas, desaparecerán ciertas especies vegetales y entonces la acción destructora y transformadora de la materia orgánica se verá afectada con mayor o menor gravedad y por lo tanto el sistema de tratamiento biológico disminuirá su rendimiento. **(Seoáñez, M., 2012).**

4.3.4 Efectos Sobre la Fauna y el Hombre

Cuando existen problemas en la humedad del suelo, es cuando se pueden presentar mayores perturbaciones por la acumulación del nitrógeno de nitratos en las plantas, siendo peligrosos para la salud animal y humana; cuando el agua residual entra en descomposición o cuando se presentan procesos de degradación en el agua residual, aumenta el nitrógeno de este origen en la solución del suelo, y por tanto aumenta su absorción por las raíces de las plantas. **(Seoáñez, M., 2012).**

El cobre y el arsénico pueden presentar problemas de toxicidad para los animales, pues el primero es un metal que se aplica en las raciones alimenticias del ganado como estimulante de crecimiento, aparte del que se genera en la industria; las plantas que crezcan en zonas donde se reciba agua residual con grandes contenidos de cobre pueden llegar a ser tóxicas para la salud animal si son digeridas en ciertas situaciones; con el arsénico pasa similar, sin embargo, se sabe que el contenido de arsénico en las legumbres no es afectado por la aplicación intensiva de agua residual que contengan un elevado nivel de concentración de arsénico. **(Seoáñez, M., 2012).**

La relación magnesio-potasio plantea problemas para la salud animal cuando es baja, ya que pueden aparecer enfermedades de tipo nutricional. Cuando se aplican a un suelo

niveles elevados de agua residual proveniente de explotaciones agrícolas, los vegetales absorben más potasio que magnesio a causa de una deficiencia de este último agravando las enfermedades causadas por nutrición. **(Seoáñez, M., 2012).**

La vegetación que está recibiendo vertidos de agua residual recibe patógenos en función de los procesos de preparación a que hayan sido sometidas. Puede existir contaminación por contacto directo, o aparecer los patógenos desde el suelo o desde el aire en el riego por aspersión. Si los organismos patógenos entran al suelo, existe peligro por contaminación de la vegetación tanto por sus raíces como por su salpicadura, aunque el riego directo es la forma más común de contaminación. Esta contaminación dependerá del contenido del agua residual, la supervivencia de los organismos patógenos, la radiación solar, la temperatura, humedad y de la capacidad de reproducción de estos, entre otros factores. **(Seoáñez, M., 2012).**

Los pastizales utilizados por los mismos animales acaban confiriendo a estos últimos cierta inmunidad frente a muchos patógenos locales. Lo mismo ocurre con las especies vegetales de consumo humano para la población local; sin embargo, el turismo o la movilidad de una población humana pueden facilitar el consumo o la exposición de individuos no inmunizados y, por consiguiente, la actuación de esos organismos. **(Seoáñez, M., 2012).**

3.4.5. Plantas de Tratamiento de agua residual en la Industria Tequilera

En la actualidad existen más de 140 empresas productoras de Tequila, que concentran alrededor de 1,500 marcas y que, sorprendentemente, menos de diez de estas empresas cuentan con una planta de tratamiento para el agua residual proveniente de su proceso de producción y solamente una trata el 100% del agua residual que genera; además en el municipio no se cuenta con ninguna infraestructura para tratar el agua residual doméstica. **(Ramos, J.J., 2017).**

La producción de tequila genera diez litros de vinazas por cada litro de tequila que se obtiene; el primer semestre del año 2018, se produjo un millón de litros diarios de tequila lo que se traduce en la generación de diez millones de litros diarios de vinazas que debieron de ser tratadas. **(Gallegos, A., 2019).**

Una planta de tratamiento que ha sido implementada en la industria tequilera remueve 2.32 kg de sólidos suspendidos totales, 0.04 kg de nitrógeno, 0.047 kg de fósforo y 7.02 kg de oxígeno diatómico, esto por cada litro de vinazas tratadas.

El costo inicial de una planta de tratamiento para esta industria, se estima entre 67 y 110 millones de pesos, sin considerar gastos de operación y mantenimiento que rondan entre los 3 millones y los 10 millones de pesos mensuales. Se requiere un análisis económico detallado para determinar el costo real de una planta de tratamiento pues depende de muchas variables como las enlistadas a continuación. **(Maca, S., 2014).**

VARIABLES EN EL COSTO DE UNA PTAR

- Calidad del afluente y efluente
- Gasto
- Procesos y operaciones unitarias
- Equipos especializados
- Ubicación
- Consumo de energía
- Obras inducidas
- Operación y mantenimiento

A continuación se resumen las desventajas y ventajas de una planta de tratamiento de agua residual para la industria tequilera.

Desventajas

- Costos de inversión inicial altos
- No genera mejora en el producto final
- Costos de mantenimiento altos
- Consumo adicional de energía
- Incremento de personal capacitado para operación y mantenimiento

Ventajas

- Remoción de contaminantes en el efluente
- Mejoramiento de la calidad de agua en potenciales fuentes de abastecimiento
- Utilización de materias primas que se generan en el proceso, como fertilizante y biogás
- Nombramiento de “Empresa Sustentable”
- Cumplimiento con obligaciones federales
- Certificación de “Industria Limpia” para reconocimiento de la marca
- Certificación de ISO-14001
- Reconocimientos internacionales
- Posicionamiento mercadotécnico de la marca
- Incremento de ventas por diferenciador de ser “industria verde”

4.4 Caracterización Regional

Para el caso de estudio, una industria dedicada a la fabricación de tequila ha proporcionado los datos de la calidad de agua en el efluente de su proceso productivo. Si bien, cada industria tequilera adopta procesos y operaciones ligados a la calidad de sus productos, esta caracterización proporciona información generalizada para visualizar el diseño y selección del mejor tratamiento para el agua residual proveniente de esta industria. La tabla 4.3 muestra los datos proporcionados de la calidad del agua residual.

Tabla 4.3 Características del agua residual proveniente de una industria tequilera.

Parámetro	Unidades	Valor	Parámetro	Unidades	Valor
pH	[]	4.405	ARSÉNICO	mg/l	0.00395
TEMPERATURA	°C	51.8	CADMIO	mg/l	0.02
GRASAS Y ACEITES	mg/l	7.44	CIANURO	mg/l	0.0122
MATERIA FLOTANTE	mg/l	Ausente	COBRE	mg/l	0.317
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.35	CROMO TOTAL	mg/l	0.1
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	0.35	CROMO TOTAL	mg/l	0.1
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	2,383.34	CROMO HEXAVALENTE	mg/l	SIN
DBO5	mg/l	7,075	MERCURIO	mg/l	0.002
NITRÓGENO TOTAL	mg/l	65.565	NÍQUEL	mg/l	0.072
FÓSFORO TOTAL	mg/l	57.425	PLOMO	mg/l	0.1
COLIFORMES FECALES	mg/l	3	ZINC	mg/l	2.831
HUEVOS DE HELMINTO	mg/l	<1	OTROS	SIN	SIN

4.4.1 Municipio de Tequila, Jalisco

El municipio de Tequila, se encuentra en el estado de Jalisco, ubicado en el occidente de la República Mexicana (figura 4.8), en el estado de Jalisco y colinda al poniente con el Océano Pacífico, al norponiente con Nayarit, al norte con Zacatecas, al noreste con Aguascalientes, al oriente con Guanajuato y al sur con Michoacán y Colima; consta con 125 municipios divididos en doce regiones y con un total de población de 7, 350,682 habitantes hasta el 2010. **(IIEG, 2018)**



Figura 4.8 Ubicación del Estado de Jalisco en México

(Google Earth, 2018)

Tequila, uno de los 125 municipios de los que consta el estado, se localiza ligeramente al poniente del centro del estado, en las coordenadas $20^{\circ} 25' 00''$ a $21^{\circ} 12' 30''$ de latitud norte y los $103^{\circ} 36' 00''$ a los $104^{\circ} 03' 30''$ longitud oeste con alturas de entre los 420 a 2,900 metros sobre el nivel del mar y pertenece a la “Región Valles”. Limita al norte con el estado de Zacatecas y con el municipio de San Martín de Bolaños; al sur con los municipios de Ahualulco de Mercado, Teuchitlán y Amatitán; al este con San Cristóbal de la Barranca, Zapopan y Amatitán; al oeste con el municipio de Hostotipaquillo, Magdalena y San Juanito de Escobedo, ver figura 4.9. **(IIEG, 2018).**

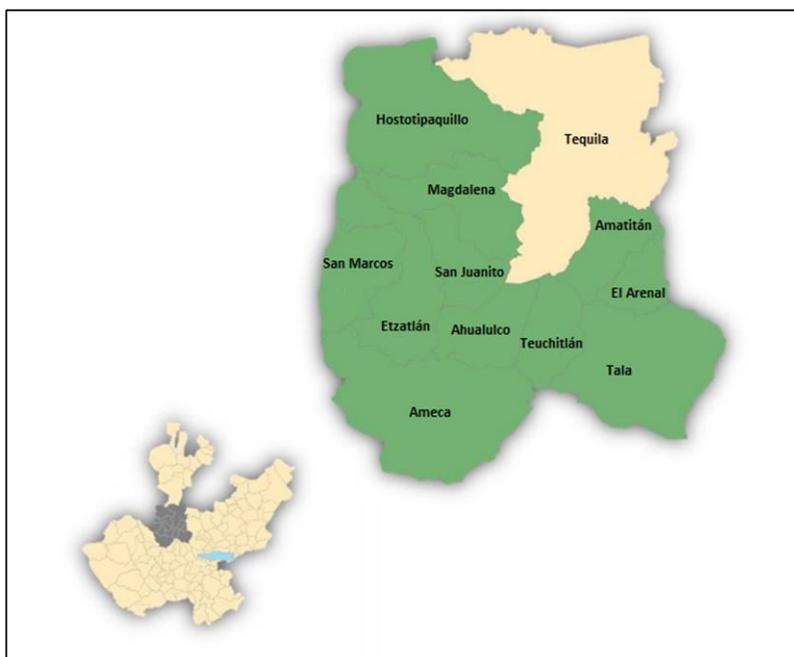


Figura 4.9 Municipio de Tequila, Jalisco.

(IIEG, 2018)

Primitivamente se llamó Tequillan o Tecuila, que se traduce como “lugar en que se corta o lugar de tributos”. Esta región fue conquistada en abril de 1530. A la llegada de los españoles los habitantes de esta región los recibieron en paz al ver que era inútil ofrecer resistencia, fue entonces que se fundó la población de Santiago de Tequila el 15 de abril de 1530. **(IIEG, 2018)**

A principios de 1541 tuvo lugar una insurrección de los indios tecoxines y de los caxcanes, que se extendió de la sierra de Tepec a Tlaltenango, Xochipila, Nochictlán y Teocaltech. Coaxicari, fue el jefe en el occidente y Tenamaxtli, llamado ya Diego Zacatecas, en el norte. En mayo de 1541, los indígenas de Tequila, Ahualulco y Ameca se unieron a la rebelión, remontándose al cerro de Tequila, guiados por Tenamaxtli. Fray Juan Calero, fue al cerro a pacificarlos, invitándolos a bajar, pero fue sacrificado a flechazos y pedradas, despojándolo de sus hábitos y colgándolo en el ídolo que veneraban. **(IIEG, 2018).**

Los naturales de Tequila y Ameca también dieron muerte al guardián del convento de Etzatlán, quien había procurado por medio de la meditación evitar una sangrienta guerra. En octubre de 1541, el virrey Antonio de Mendoza, alarmado por la rebelión, salió de México con destino a la Nueva Galicia; decidido a sofocar esa insurrección. Se apersonó ante el virrey el cacique Diego Zacatecas quien fue llevado prisionero hasta Etzatlán donde lo puso en libertad a condición de que tornaran a su pueblo y se dedicaran al trabajo y al estudio de la doctrina. Finalmente fue enviado a España. Una vez derrotados los rebeldes,

en diciembre de 1541; se continuó la labor pacificadora de los naturales mediante su evangelización. **(IIEG, 2018).**

La primera fábrica fue instalada en 1600 por don Pedro Sánchez de Tagle, marqués de Altamira, quien introdujo el cultivo y destilación del mezcal para producir tequila. Hacia 1623, Domingo Lázaro de Arregui en su “Descripción de la Nueva Galicia” hace referencia al corregimiento de Tequila. Por decreto del 27 de marzo de 1824, Tequila se convirtió en cabecera de departamento y en esa misma disposición se le concedió el título de villa. Desde esta fecha Tequila existe como municipalidad. En 1825, aparece registrado como pueblo con ayuntamiento y cabecera de departamento del Quinto Cantón de Etzatlán. **(IIEG, 2018).**

Por decreto del 15 de enero de 1872, los departamentos de Ahualulco y Tequila se erigen en Duodécimo Cantón, siendo este segundo lugar la cabecera. Posteriormente, en marzo de 1891, se estableció definitivamente en Ahualulco la cabecera del Doceavo Cantón. El 9 de enero de 1874, y por decreto se le concedió a la villa de Tequila el título de ciudad, en reconocimiento a la patriótica y valiente conducta observada por sus vecinos el día 24 de enero de 1873; cuando el jefe político Sixto Gorjón, al frente de medio centenar de gendarmes y un grupo de valientes tequilenses se resistieron a que la ciudad fuera tomada por las huestes de Manuel Lozada "El Tigre de Alica"; lo que finalmente ocurrió cobrando las vidas de los lugareños. **(IIEG, 2018).**

4.4.2 Geografía

El municipio de Tequila tiene una superficie de 1,364.14 km^2 ubicándose en la posición número dieciséis con relación al resto de los municipios del estado. La cabecera municipal también llamada Tequila, se encuentra a 1,189 msnm aunque algunas regiones del municipio se encuentran a altura mínima de 420 msnm y a una máxima de 2,940 msnm. **(IIEG, 2018).**

El municipio de Tequila está situado en diferentes relieves, tiene pocas tierras planas, a excepción de algunos pequeños valles, su orografía es muy irregular. A las orillas del río Santiago y Chico hay 700 metros sobre el nivel del mar; al sur del municipio se registran hasta 2,900 metros (cerro de Tequila); en la parte norte las alturas son de 1,700 y 1,800 metros, pero al este en la Sierra de Balcones hay alturas de 2,300 metros. El 57.6% de la superficie del municipio tiene terrenos montañosos con pendientes mayores a 15°; el 24.5% de la superficie pertenece a terrenos de lomerío y el 17.9% es plano. **(IIEG, 2018).**

4.4.3 Hidrografía

Aguas Superficiales

En la figura 4.10 se muestra la hidrografía superficial del municipio de Tequila que cuenta con los ríos Grande o Santiago, Chico y Bolaños, así como los arroyos de Balcones, Picacho, Joyas de las Tablas, El Maguey, Tejón, Barranco, Carrizal, Tequesquite, San Bartolo, Las Higueras, Piedras Grandes, Arroyo Hondo y Mirador. **(CEA Jalisco, 2015).**

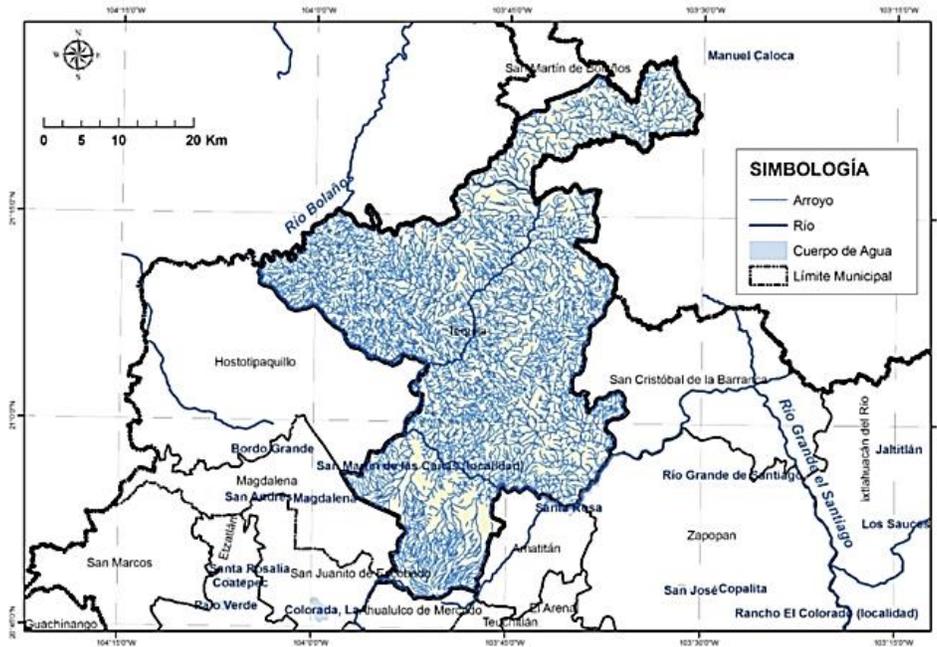


Figura 4. 10 Hidrografía superficial del municipio de Tequila, Jalisco
(CEA Jalisco, 2015)

Cuenta con los manantiales de La Fundación, El Aguacatillo, La Gloria, La Toma y Los Azules así como la presa de Santa Rosa; además, la subcuenca hidrológica Río Santiago 3 ocupa el 73.41% del total del territorio municipal, el restante se divide entre las subcuencas Río Bolaños 2 y de la Presa Santa Rosa. **(CEA Jalisco, 2015)**. Además, el municipio pertenece a la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, una de las cuencas hidrológicas más grandes de México. **(CONAGUA, 2018a)**.

La Cuenca Hidrológica Río Santiago 3, tiene una superficie de aportación de 1,851.8 kilómetros cuadrados y actualmente cuenta con un volumen disponible a la salida de 241.50 millones de metros cúbicos; la Cuenca Hidrológica Río Bolaños 2, tiene una superficie de aportación de 2,939.3 kilómetros cuadrados y actualmente cuenta con un volumen disponible a la salida de 92.20 millones de metros cúbicos; la Cuenca Hidrológica Presa Santa Rosa, tiene una superficie de aportación de 1,936.7 kilómetros cuadrados y actualmente cuenta con un volumen disponible a la salida de 194.17 millones de metros cúbicos. **(CEA Jalisco 2015)**. Sin embargo el 10 de septiembre de 1947 se publicó en el DOF el Acuerdo que declara veda de concesión de aguas, por tiempo indefinido, en toda la cuenca tributaria del Río Santiago o Tololotlán, en los Estados de Jalisco y Nayarit, es decir que no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. **(CEA Jalisco, 2015)**

Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas se definen como cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen en la Ley de Aguas Nacionales. **(CEA Jalisco, 2015).**

El municipio de Tequila se encuentra en su mayor parte en el Acuífero San Martín de Bolaños, sin embargo, se ubica también sobre los acuíferos de Tequila y Amatitán, los cuales se encuentran localizados en la región valles del Estado de Jalisco. **(CEA Jalisco, 2015).** El Acuífero San Martín de Bolaños ocupa el 80.69 % del total del territorio municipal; mientras que el acuífero Tequila ocupa el 10.42 % y Amatitán el 8.32 %, Arenal el 0.35 % y Ameca el 0.22 % restante (figura 4.11). **(CEA Jalisco, 2015).**

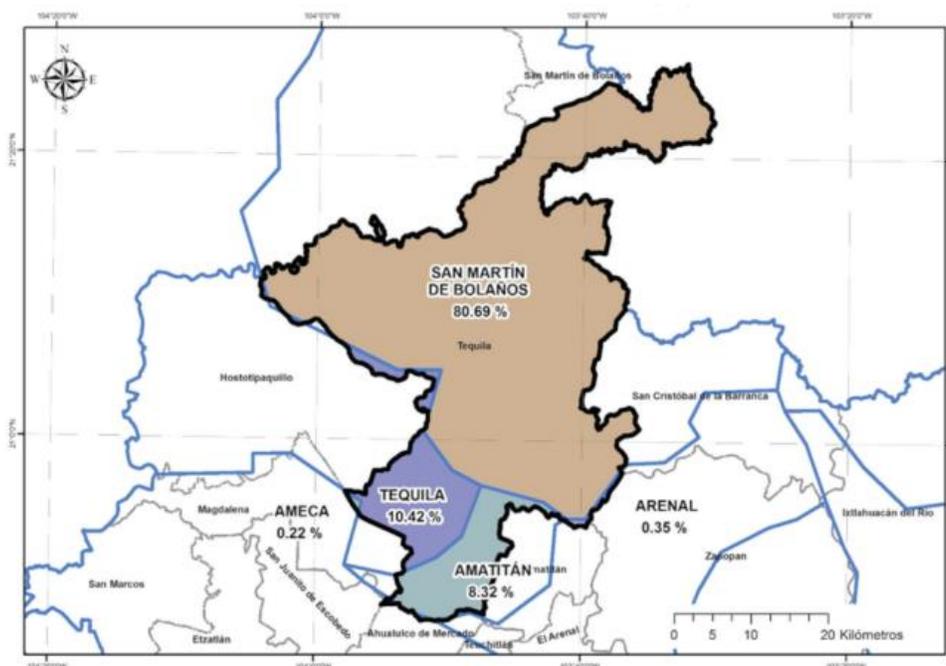


Figura 4.11 Ocupación territorial de los acuíferos en el municipio de Tequila, Jalisco (%)

(CEA Jalisco, 2015)

Uso y Disponibilidad de las Aguas Subterráneas

De acuerdo al Registro Público de Derechos de Agua 2013 de la Comisión nacional del Agua, el municipio de Tequila tiene registrados 101 aprovechamientos de aguas superficiales, los cuáles se clasifican como lo muestra la tabla 4.4. **(CEA Jalisco, 2015).**

Tabla 4.4 Aprovechamiento de aguas subterráneas en el municipio de Tequila, Jalisco

Uso	Cantidad	Volumen (Mm3)	% Volumen
Agrícola	45	5.764504	60.63
Industrial	13	2.481921	26.11
Público urbano	9	1.153516	12.13
Servicios	1	0.1	1.05
Pecuario	3	0.007172	0.08
Total	71	9.507113	100

(CEA Jalisco, 2015)

La figura 4.12, muestra la disponibilidad de aguas subterráneas en el municipio donde el acuífero de San Martín de Bolaños cuenta con un volumen de disponibilidad de agua de 2.07 millones de metros cúbicos al años; el acuífero de Tequila cuenta con un volumen de disponibilidad de agua de 6.54 millones de metros cúbicos al año; y el acuífero de Amatitán cuenta con un volumen de disponibilidad de agua de 1.93 millones de metros cúbicos al años. **(CEA Jalisco, 2015)**. El resultado indica que existe un volumen de aguas subterráneas de 10.56 millones de metro cúbico por año disponible para nuevas concesiones. **(CEA Jalisco, 2015)**.

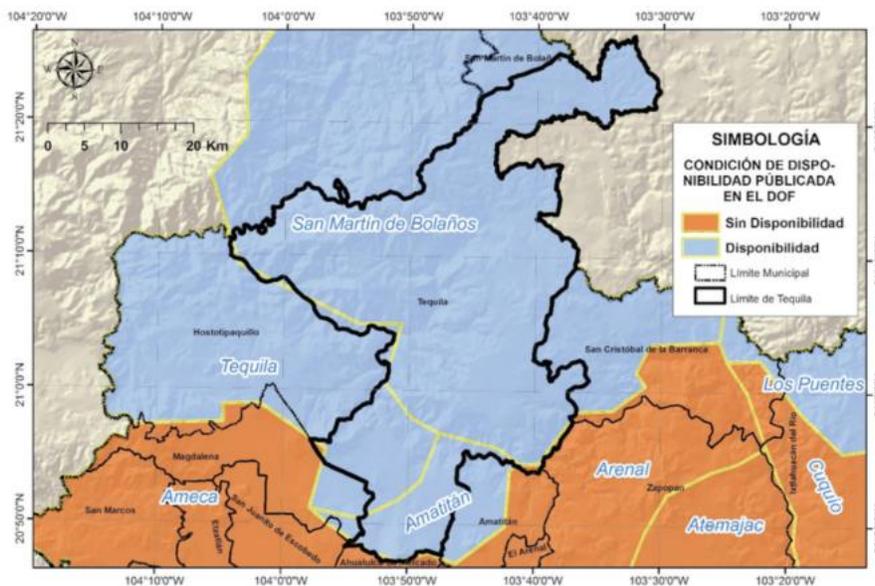


Figura 4.12 Disponibilidad de aguas subterráneas en el municipio de Tequila, Jalisco.

(CEA Jalisco, 2015)

4.4.4 Clima

El clima del municipio es semicálido-semihúmedo definida en la mayoría de la superficie donde la temperatura media anual es de 21.3°C, mientras que la temperatura máxima y mínima promedio oscilan entre 33.6°C y 9.1°C respectivamente. **(IIEG, 2018)**.

Tiene una precipitación media anual de 1,073.1 milímetros de régimen de lluvia en los meses de junio a octubre y los vientos dominantes son en dirección noreste y sureste, donde el promedio de días con heladas al año es de 0.4. (IIEG, 2018).

4.4.5 Geología y Suelo

Los terrenos que corresponden al municipio de Tequila, perteneces al periodo terciario y están compuestos predominantemente por roca extrusiva ácida cubriendo el 60.8% de la superficie del municipio, seguida de roca basáltica encontrándose en un 26.8%; el resto de la superficie es común encontrar tobas, rocas residuales, breccas volcánicas entre otras. (IIEG, 2018).

El suelo predominante es el luvisol crómico y órtico cubriendo el 40.3% de la superficie del municipio caracterizado por la acumulación de arcilla; son suelos rojos o amarillentos destinados principalmente a la agricultura con rendimientos moderados y alta susceptibilidad a la erosión. El bosque es el uso de suelo dominante cubriendo el 46.7% de la superficie, seguido de la selva, pastizal y la agricultura. (IIEG, 2018).

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía el municipio de Tequila tiene como predominantes los usos de suelo Bosque de Encino con una cobertura aproximada del 40% del territorio municipal, Selva Caducifolia con un 19% y Vegetación Inducida con el 18%. La figura 4.13 representa las áreas de uso de suelo en el municipio de Tequila. (IIEG, 2018).

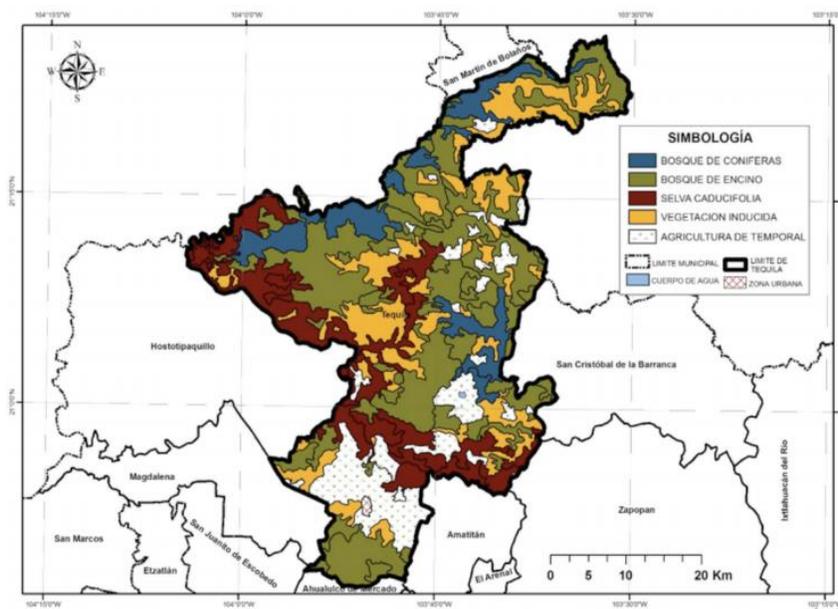


Figura 4.13 Uso de suelo en el municipio de Tequila, Jalisco

(IIEG, 2018)

4.4.6 Demografía y Sociedad

El municipio de Tequila pertenece a la región Valles, su población en 2015 según la encuesta intercensal es de 42,009 habitantes; 49.2% son hombres y 50.8% son mujeres; se estima que para el año 2020, la población aumentará a 44,945 habitantes representando el 0.54% de la población total del estado. **(IIEG, 2018).**

La cabecera municipal de Tequila es la localidad más poblada con 29,203 habitantes y que representa el 71.8% de la población del municipio; seguido la comunidad de El Salvador, Santa Teresa, San Martín de las Cañas y El Medineño. **(IIEG, 2018).**

Intensidad migratoria

El estado de Jalisco tiene una añeja tradición migratoria a Estados Unidos que se remonta hacia los finales del siglo XIX. Se estima que 1.4 millones de personas nacidas en Jalisco habitan en Estados Unidos y que alrededor de 2.6 millones de personas nacidas en aquel país son hijos de padres jaliscienses. **(IIEG, 2018).** De acuerdo al índice de intensidad migratoria calculado por Consejo Nacional de Población (CONAPO) con datos del censo de población de 2010 del INEGI, Jalisco tiene un grado alto de intensidad migratoria, y tiene el lugar decimotercero entre las entidades federativas del país con mayor intensidad migratoria y, como se muestra en la figura 4.14, el municipio de Tequila conserva una tasa baja de migración hacia Estados Unidos, teniendo el puesto 108 de los 125 municipios de los que se conforma el estado. **(IIEG, 2018)**

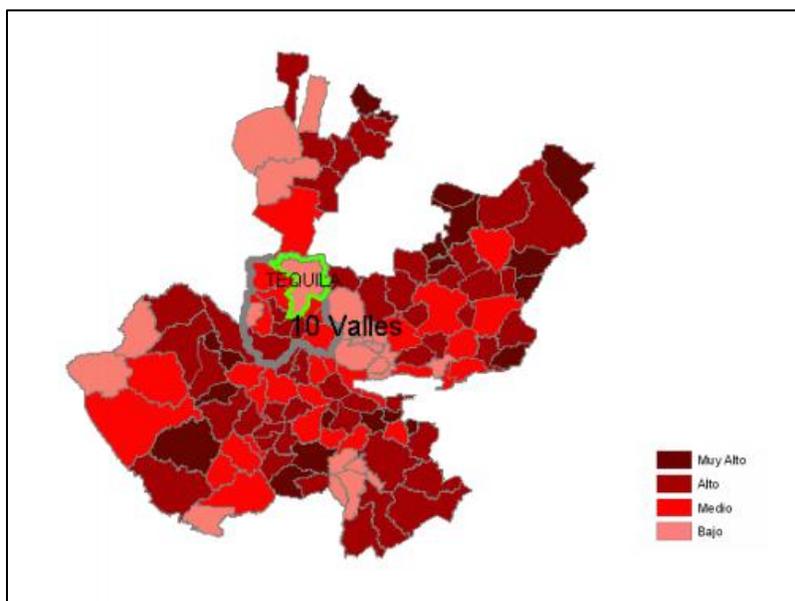


Figura 4.14 Grado de intensidad migratoria por municipio en el estado de Jalisco

(IIEG, 2018)

Pobreza Multidimensional

La pobreza, está asociada a condiciones de vida que vulneran la dignidad de las personas, limitan sus derechos y libertades fundamentales, impiden la satisfacción de sus necesidades básicas e imposibilitan su plena integración social. De acuerdo con esto, una persona se considera en situación de pobreza multidimensional cuando sus ingresos son insuficientes para adquirir los bienes y los servicios que requiere para satisfacer sus necesidades y presenta carencia en al menos uno de los siguientes seis indicadores: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social calidad y espacios de la vivienda servicios básicos en la vivienda. **(IIEG, 2018).**

En el municipio de Tequila, el 42.6% de la población se encuentra en situación de pobreza, es decir 17,339 personas, ganándose el lugar de uno de los municipios más altos del estado de Jalisco como lo muestra la figura 4.11; aunado a esto, el 27.3% de la población es vulnerable por carencias sociales; el 9.1% de la población es vulnerable por ingresos y el 21% no es pobre y no es vulnerable por ingresos ni por carencias sociales. El municipio de Tequila ocupa el lugar 64 de los 125 municipios que conforman el estado de Jalisco, en el índice de pobreza multidimensional como se muestra en la figura 4.15. **(IIEG, 2018).**

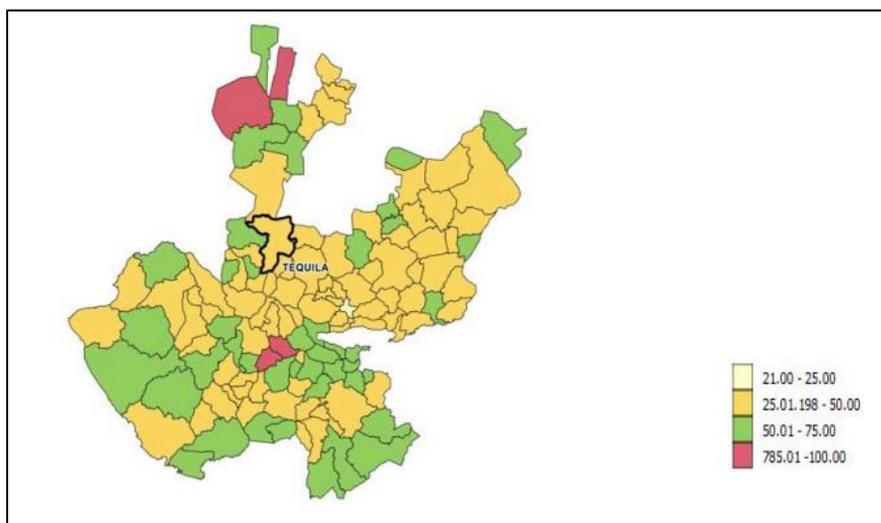


Figura 4.15 Grado porcentual de pobreza multidimensional por municipio en el estado de Jalisco

(IIEG, 2018)

Marginación

La construcción del índice para las entidades federativas, regiones y municipios considera cuatro dimensiones estructurales de la marginación: falta de acceso a la educación (población analfabeta de 15 años o más y población sin primaria completa de 15 años o más), residencia en viviendas inadecuadas (sin disponibilidad de agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo, con piso de tierra, sin disponibilidad de energía eléctrica y con algún nivel de hacinamiento), percepción de ingresos monetarios insuficientes (ingresos hasta 2 salarios mínimos) y residir en localidades pequeñas con menos de 5 mil habitantes. **(IIEG, 2018).**

El municipio de Tequila cuenta con un grado de marginación muy bajo (figura 4.16), ya que la mayoría de sus carencias están por arriba del promedio estatal; destaca que la población de 15 años o más sin primaria completa asciende al 16.34 por ciento, y que el 39.27 por ciento de la población no gana ni dos salarios mínimos. El municipio de Tequila ocupa el lugar 88 de 125 municipios que conforman el estado de Jalisco, en el índice de marginación. **(IIEG, 2018).**

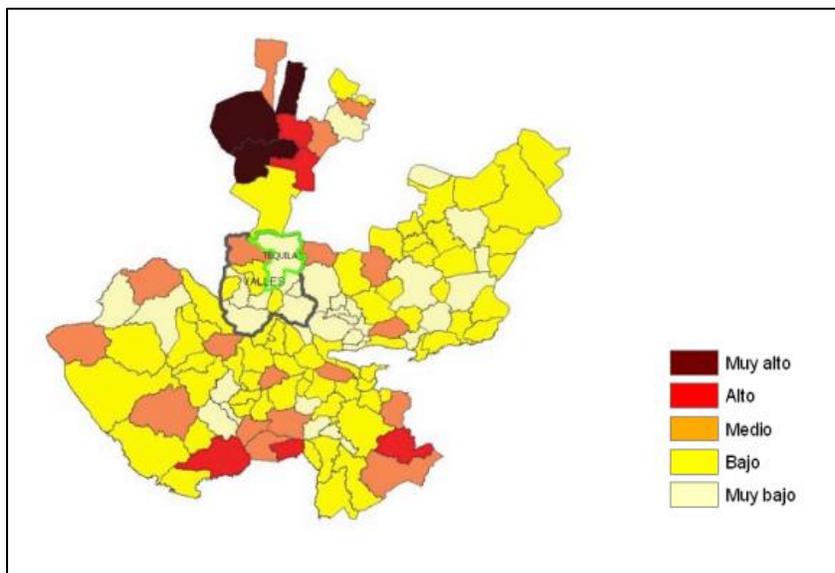


Figura 4.16 Grado de marginación por municipio en el estado de Jalisco

(IIEG, 2018)

4.4.7 Economía

Según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI, el municipio de Tequila cuenta con 2,572 unidades económicas a noviembre de 2017 y su distribución por sectores revela un predominio dedicado a los servicios como lo muestra la figura 4.17. **(IIEG, 2018).**

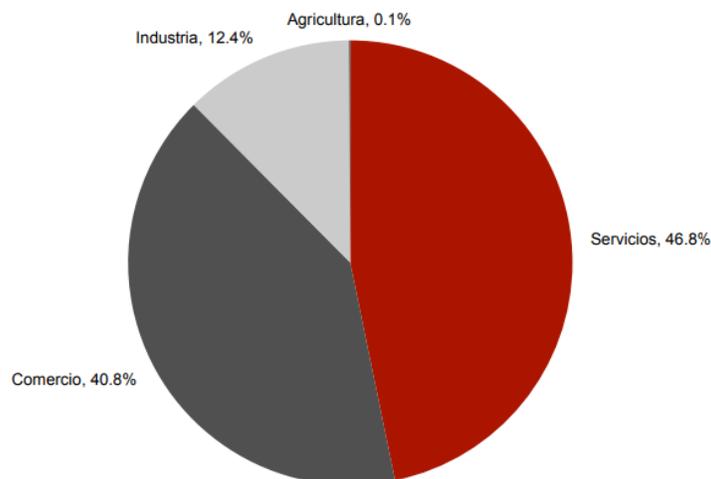


Figura 4.17 Distribución de las unidades económicas en el municipio de Tequila, Jalisco.

(IIEG, 2018)

El valor agregado censal bruto se define como: “el valor de la producción que se añade durante el proceso de trabajo por la actividad creadora y de transformación del personal ocupado, el capital y la organización (factores de la producción), ejercida sobre los materiales que se consumen en la realización de la actividad económica.” **(IIEG, 2018)**. En resumen, esta variable se refiere al valor de la producción que añade la actividad económica en su proceso productivo. Los censos económicos 2014, registraron que, en el municipio de Tequila, los tres subsectores más importantes en la generación de valor agregado censal bruto fueron las Industrias de las bebidas y del tabaco; el Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas y tabaco; y el Comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales, que generaron en conjunto el 92.0% del total del valor agregado censal bruto registrado en 2014 en el municipio. **(IIEG, 2018)**.

El subsector de las Industrias de las bebidas y del tabaco, que concentró el 89.3% del valor agregado censal bruto en 2014, registró el mayor crecimiento real pasando de 1,853 millones 866 mil pesos en 2009 a 2,246 millones 726 mil pesos en 2014, representado un incremento de 21.2% durante el periodo. **(IIEG, 2018)**

Empleo

Para diciembre de 2017, el IMSS reportó un total de 4,501 trabajadores, lo que representa 410 más que en diciembre de 2013. En función de los registros del IMSS el grupo económico que más trabajadores tiene registrados dentro del municipio de Tequila, es la Elaboración de Bebidas que en diciembre del 2017 registró un total de 981 trabajadores asegurados concentrando el 21.8% del total de éstos en el municipio donde se registró un incremento de 336 trabajadores asegurados respecto de 2013; el segundo grupo económico con más trabajadores asegurados es la Agricultura, que para diciembre del 2017 registró 617

trabajadores, que representan el 13.7% del total de trabajadores asegurados a dicha fecha. **(IIEG, 2018).**

El índice de desarrollo municipal conjunta una serie de variables económicas, institucionales, sociales y de medio ambiente, para proporcionar un indicador que permite identificar la posición que ocupa el municipio en el plano estatal, es decir, comparar la situación del municipio con relación a los demás municipios de la misma región y con los municipios del resto del estado, donde Tequila se ubica en la posición número 13 en el índice de desarrollo municipal (IDM) del total de los 125 municipios del estado; cabe mencionar que Tequila es el municipio con el índice más alto quedando por arriba de Amatitán que ocupó el lugar 14 del total de municipios de Jalisco. **(IIEG, 2018)**

Por su parte, el índice de desarrollo municipal del aspecto económico (IDM-E), engloba las variables de producción, producción agropecuaria, trabajadores asegurados, y población ocupada, para dar un elemento que permita monitorear la situación de desarrollo económico que tiene el municipio y así poder compararlo con el resto de los municipios del estado; así, este indicador que se pondera en función del tamaño de la población, es más favorable para el municipio de Tequila al ubicarlo en la posición 12, y ser el municipio mejor posicionado a nivel estatal de los municipios que pertenecen a la región Valles. **(IIEG, 2018).**

Agricultura y ganadería

El valor de la producción agrícola en Tequila ha presentado diversas fluctuaciones durante el periodo 2012–2016, habiendo registrado su nivel más alto en 2015, como lo muestra la figura 4.18, donde el valor de la producción agrícola de Tequila de 2016, representó el 1.60% del total de producción agrícola estatal. **(IIEG, 2018).**

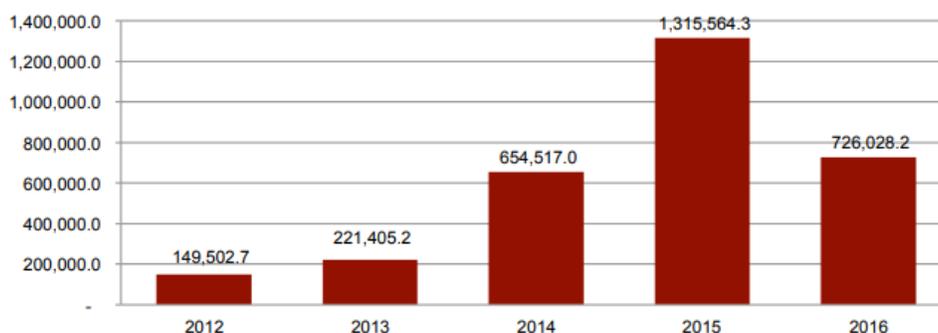


Figura 4.18 Valor de la producción agrícola, Tequila 2012-2016 (en miles de pesos)

(IIEG, 2018)

La producción ganadera en Tequila se ha mantenido oscilando en un cerrado rango de fluctuación, durante el periodo 2012-2016 como se muestra en la figura 4.19, por lo que su

valor representativo de participación respecto al total de producción ganadera del Estado, es de 0.15%. **(IIEG, 2018).**

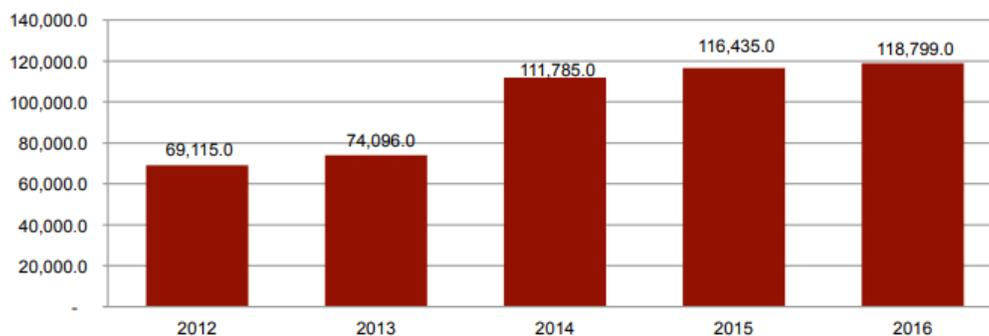


Figura 4.19 Valor de la producción ganadera, Tequila 2012-20167 (en miles de pesos)
(IIEG, 2018)

Industrial

La principal actividad industrial es la fabricación de tequila, así como la elaboración de toneles, barrilitos y ánforas hechas con madera de roble y piel de cerdo. La industria tequilera es la principal fuente económica en el municipio. Existen fábricas muy antiguas como "La Riojeña", fundada en 1795; "El Tigre" (hoy La Constancia) fundada en 1823; Destiladora de Occidente (hoy "Tequila D'Reyes") fundada en 1840; La Perseverancia (hoy Tequila Sauza) fundada en 1873; El Llano (hoy Tequila Azteca) fundada en 1876; La Mexicana (hoy Tequila Orendain) fundada en 1879. **(IIEG, 2018).**

4.4.8 Medio Ambiente

El índice de medio ambiente, contempla aspectos como generación de residuos sólidos, deforestación, explotación de acuíferos, cobertura forestal, áreas naturales protegidas, entre otros, Tequila se ubica en el lugar 31 a nivel estatal, lo cual indica un desarrollo Alto del medio ambiente en comparación al resto de los municipios de la entidad, y la cuarta posición en la región Valles. **(IIEG, 2018).**

En el Índice Municipal de Medio Ambiente, 2013, destaca que Tequila se ubica en un acuífero no sobreexplotado, sobre el cual se registra un total de 9,124 viviendas particulares habitadas, de las cuales 93.74% tienen disponibilidad de agua dentro de la casa o el terreno y 95.62% cuentan con drenaje conectado a la red pública, fosa séptica u otros. **(IIEG, 2018).**

El Municipio tiene una cobertura de 47.3% de bosques, 22.9% de selvas y 14.8% destinada a la agricultura. En los últimos 25 años el municipio ha recuperado 16.01 km² de superficie con vegetación natural y presenta 14.62% de la superficie con riesgo de erosión. En el ordenamiento ecológico territorial, el 52.06% de su territorio está bajo políticas

ambientales de conservación. En términos de residuos sólidos urbanos, el municipio participa con el 0.52% del total estatal, equivalente a 39.273 toneladas generadas por día. **(IIEG, 2018).**

Saneamiento

En el municipio de Tequila no existe ninguna planta de tratamiento de agua residual; por lo tanto, en la cobertura de saneamiento de agua residual, la población del municipio de Tequila tiene un total del 0.0 % de sus aguas tratadas. **(Comisión Estatal del Agua Jalisco, 2015).** Se presentan los datos de saneamiento en la tabla 4.4 siguiente.

Tabla 4.5 Cobertura de saneamiento de agua residual municipal en el municipio de Tequila, Jalisco.

	No. De localidades	Población	Gasto generado (lps)	Gasto tratado	No. PTARs en operación	Cobertura de saneamiento
Localidades Urbanas (mayor o igual a 2,500 habitantes)	2	31,705	75.1	0	0	0
Localidades Rurales (menos a 2,500 habitantes)	155	8,992	15.2	0	0	0
Total	157	40,697	90.3	0	0	0

(CEA Jalisco, 2015)

Continuación tabla 5.1

Operación o proceso	Notas
Desarenador	Se puede prescindir de los canales desarenadores puesto que la esencia del agua residual es la proveniente de las vinazas del proceso de producción del tequila; sin embargo, algunas industrias aún utilizan sistemas de producción tradicionales, como el desgarrado en tahona con arrastre animal, pudiendo adicionar arenas y otros contaminantes durante el lavado de estos sistemas u otros. Por esa razón se considerará dentro del diseño, dos canales desarenadores con sólo uno en operación, para el adecuado mantenimiento del otro. El canal desarenador se diseñará con el ajuste de la sección parabólica y un canal Parshall aguas abajo de este.
Parshall	El Canal Parshall será diseñado en el intervalo del gasto medio y gasto máximo. Este dispositivo es fundamental para la medición de caudales de llegada a la planta.
Tanque de igualación	El tanque de igualación teóricamente se puede despreciar, pues se han proporcionado únicamente datos de gasto medio. Sin embargo, la realidad indica que debe existir una variación horaria en el gasto de entrada. Para esto, se optó por la suposición de un hidrograma de entrada considerando el gasto medio y el gasto máximo y así poder diseñar la estructura de regulación para que salga un gasto constante medio.
Sedimentador primario	El sedimentador primario se diseñará para remover hasta el 35% de la DBO y hasta el 60% de los SST. Se elige un sedimentador circular con alimentación central.
Reactor anaerobio de flujo ascendente	Se optó por un sistema biológico combinado debido al alto nivel de contaminación por DBO y DQO. El primer reactor de tipo anaerobio se diseñará para remover el 75% de la DBO restante, así como el 67% de la DQO. El reactor se diseñará por sectores.
Reactor aerobio (lodos activados)	Para cumplir con la normatividad para descarga en cuerpos de agua, así como el reúso para riego. En el reactor aerobio se diseñará para eliminar el 85% de la DBO y DQO restante, así como la eliminación del Nitrógeno y Fósforo.
Sedimentador secundario	El sedimentador secundario se dimensionará para finalmente remover hasta el 40% de la DBO remanente y el 70% de los SST remanentes de todo el proceso. Se consideran dos sedimentadores secundarios con diferentes TRH, para cumplir con las NOMs referentes a la descarga a cuerpos de agua y el reúso de agua trata para riego

5.1 Rejillas

Se propone el cálculo de rejillas para sólidos medios. Una rejilla de barras circulares de 2.0 cm de diámetro, instalada con una inclinación de 60° respecto a la horizontal y espaciamiento libre entre barras de 2.5 cm, el cuál recibirá un gasto máximo de 556 l/s. La limpieza de la rejilla será mecánica y la velocidad de acercamiento es de 0.35 m/s. La

velocidad a través de la rejilla no será mayor a 0.7 m/s para evitar el arrastre de las partículas retenidas.

Área del canal

$$A = Wh$$

Ecuación 1

donde

A Área del canal m^2

W Ancho del canal m

h Tirante hidráulico

Velocidad antes de la rejilla

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

Ecuación 2

donde

V Velocidad antes de la reja m/s

Q Gasto de diseño m^3/s

A Área del canal

Longitud de la Rejilla

$$L = \frac{h + h_b}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 3

donde

L Longitud de la reja, m

h Tirante hidráulico, m

h_b Bordo libre, m

θ Ángulo de inclinación

Número de barras

$$n = \frac{W - C}{C + d_b} + 1$$

Ecuación 4

$$n = \frac{W - C}{C + d_b}$$

Ecuación 5

donde

C Claro de barras, m

W Ancho del canal, m

n número de espacios

$n - 1$ Número de barras

d_b Espesor de la barra, m

Pérdida Hidráulica

$$h_L = \beta \left(\frac{d_b}{C} \right)^{4/3} h_v \text{sen} \theta$$

Ecuación 6

donde

h_L Pérdida hidráulica, m

β 1.79 para barras circulares

d_b Espesor de la barra

C Claro de las barras

h_v Altura o energía de la velocidad de flujo de aproximación, m

θ Ángulo de la rejilla horizontal

Velocidad a través de la reja

$$A_r = n d_b h$$

Ecuación 7

$$V_r = \frac{Q}{A - A_r}$$

Ecuación 8

donde

V_r Velocidad a través de las rejillas, m/s

A_r Área a través de las barras, m^2

A Área del canal, m^2

d_b Espesor de la barra, m

h Tirante hidráulico, m

n Número de espacios

Q Gasto de diseño m^3/s

5.2 Desarenador

Se dimensionará un sistema de dos canales desarenadores de flujo horizontal. Se diseñará para separar partículas de hasta 0.2 mm de diámetro. A partir de los datos del proyecto se sabe que la temperatura mínima es de 26.37 °C. Las partículas a remover tienen una densidad de 2,650 kg/m³ y el gasto máximo es de 556 L/s.

Ecuación de Descarga

$$Q = 1.054H_a^{1.538}$$

Ecuación 9

donde

Q Gasto de diseño m^3/s

H_a Del diseño del Parshall, m

Velocidad en H_a

$$v_2 = \frac{Q}{W_a H_a}$$

Ecuación 10

$$\frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{V_2^2}{2g} + H_a + h_L$$

Ecuación 11

donde

v_2 Velocidad en la sección 2, m/s

Q	Gasto de diseño m^3/s
W_a	Medida del canal Parshall, m
H_a	Del diseño del Parshall, m
V_1	Velocidad en la sección 1, m/s
h_L	Pérdidas entre las secciones, m

Area del canal desarenador

$$A = \frac{Q}{V_1} \quad \text{Ecuación 12}$$

donde

A	Área del canal desarenador, m
Q	Gasto de diseño m^3/s
V_1	Velocidad en la sección 1, m/s

Techo de la sección parabólica

$$T = \frac{3A}{2h} \quad \text{Ecuación 13}$$

donde

T	Techo de la sección parabólica, m
A	Área del canal desarenador, m
h	Tirante hidráulico, m

Tiempo de sedimentación

$$t = \frac{h}{v_s} \quad \text{Ecuación 14}$$

donde

t	Tiempo de sedimentación, s
h	Tirante hidráulico, m

v_s Velocidad de sedimentación, m/s

Longitud del desarenador

$$L = \frac{hv_1}{v_s}$$

Ecuación 15

donde

L Longitud del desarenador

h Tirante hidráulico, m

v_1 Velocidad en la sección 1, m/s

v_s Velocidad de sedimentación, m/s

Longitud mínima admisible

$$\Delta L_{min} = 2h_{max}$$

Ecuación 16

donde

ΔL_{min} Longitud mínima admisible, m

h_{max} Tirante máximo, m

Longitud máxima adicional

$$\Delta L_{max} = 0.5L$$

Ecuación 17

ΔL_{max} Longitud máxima adicional, m

L Longitud del desarenador, m

Longitud final

$$L_T = L + \Delta L_{max}$$

Ecuación 18

L_T Longitud final, m

L Longitud del desarenador, m

ΔL_{min} Longitud mínima admisible, m

5.3 Canal Parshall

Su diseño se realizó de acuerdo con el método convencional, y con base en las tablas 2.5 y 2.6. Para un gasto medio de $Q_m = 277 \text{ l/s}$ y un gasto máximo extraordinario de $Q_m = 556 \text{ l/s}$.

5.4 Tanque de igualación

De un hidrograma de entrada propuesto y un hidrograma de salida de diseño, se obtuvieron la ley de entrada y la ley de salida teóricas para el dimensionamiento del tanque. La suma del máximo déficit y el máximo excedente de la diferencia entre los volúmenes de entrada y salida, da como resultado el volumen de almacenamiento teórico del tanque.

$$V_T = \text{Máximo excedente} + \text{Máximo déficit}$$

Ecuación 19

5.5 Sedimentador primario

Se propone el diseño de un tanque de sedimentación primaria de sección circular para el gasto medio de diseño $Q_m = 277 \text{ l/s}$ proponiendo una carga de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ y un tirante hidráulico h de 3 m y un bordo libre de 0.5 m y diseñado para remover el 60% de los SST y el 35% de la DBO.

Área superficial

$$A_s = \frac{Q_m}{H_a}$$

Ecuación 20

donde

A_s Área superficial, m^2

Q_m Caudal medio, m^3/s

H_a Carga superficial, m^3/m^2d

Volumen del sedimentador

$$V = A_s h$$

Ecuación 21

donde

V	Volumen, m^3
A_s	Área superficial, m^2
h	Tirante hidráulico, m

Tiempo de retención hidráulica

$$T_{RH} = \frac{V}{Q_m}$$

Ecuación 22

donde:

T_{RH}	Tiempo de retención hidráulica (s)
V	Volumen, m^3
Q_m	Caudal medio, m^3/s

5.6 Reactor Aerobio de Flujo Ascendente

Carga de DQO afluente promedio

$$L_o = S_o * Q_{ip}$$

Ecuación 23

donde

L_o	Carga de DQO del efluente, $KgDQO/d$
S_o	Concentración de DQO inicial, Kg/m^3
Q_{ip}	Gasto promedio, m^3/d

Tiempo de residencia hidráulica

$$TRH = 8 \text{ horas}$$

Ecuación 24

donde

TRH	Tiempo de residencia hidráulica, h
-------	--------------------------------------

Volumen del reactor

$$V = Q_{ip} * TRH$$

Ecuación 25

donde

V Volumen del tanque, m^3

Q_{ip} Gasto medio, m^3/d

TRH Tiempo de residencia hidráulica, d

Número de módulos del reactor

Se establece el número de módulos de los que estará conformado el reactor.

$$N = 6$$

Ecuación 26

donde

N Número de módulos en el reactor

Volumen de cada módulo

$$Vu = \frac{V}{N}$$

Ecuación 27

donde

Vu Volumen de cada módulo, m^3

V Volumen total, m^3

N Número de módulos en el reactor

Altura del reactor

Se establece un valor para la altura del reactor.

$$H = 4 m$$

Ecuación 28

donde

H Altura del reactor, m

Área de cada módulo

$$A = \frac{Vu}{H}$$

Ecuación 29

donde

A Área de cada módulo, m^2

Vu Volumen de cada reactor, m^3

H Altura del reactor, m

Verificación del área, volumen y tiempo de residencia hidráulica

$$At = N * A$$

Ecuación 30

$$Vt = At * H$$

Ecuación 31

$$t = \frac{Vt}{Qip}$$

Ecuación 32

donde

At Área total correcta, m^2

N Número de módulos en el reactor

Vt Volumen total correcto, m^3

H Altura del reactor, m

t Tiempo de residencia hidráulica correcta, d

Verificación de las cargas aplicadas

$$CHV = \frac{Qip}{V}$$

Ecuación 33

$$COV = \frac{Qip * So}{V}$$

Ecuación 34

donde

CHV	Carga hidráulica volumétrica, $m^3/m^3 d$
COV	Carga Orgánica Volumétrica, $kgDQO/m^3 d$
Qip	Gasto medio, m^3/d
So	Concentración de DQO inicial, Kg/m^3
V	Volumen total, m^3

Verificación de las velocidades de flujo ascendente

$$v = \frac{Qip}{At} \quad \text{Ecuación 35}$$

v	Velocidad del flujo ascendente, m/s
Qip	Gasto medio, m^3/d
At	Área total correcta, m^2

Sistemas de distribución del agua residual

Se calculará el número de tubos de distribución del afluente al reactor, considerando un lodo medio floculento y una COV menor a $2 kgDQO/m^3 d$.

$$Nd = \frac{At}{Ad} \quad \text{Ecuación 36}$$

donde

Nd	Número de tubos de distribución
At	Área total correcta, m^2
Ad	Área de influencia por tubo de distribución, igual a $2 m^2$

Estimación de las eficiencias de remoción de la DQO del sistema

$$E_{DQO} = 100 * (1 - (0.68 * t^{-0.35})) \quad \text{Ecuación 37}$$

donde

E_{DQO}	Eficiencia de remoción de la DQO del sistema
t	Tiempo de residencia hidráulica, h

Estimación de las eficiencias de remoción de DBO del sistema

$$E_{DBO} = 100 * (1 - (0.07 * t^{-0.50}))$$

Ecuación 38

donde

E_{DBO} Eficiencia de remoción de la DBO del sistema

t Tiempo de residencia hidráulica, h

Estimación de las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final

$$C_{efl DQO} = S_o - \frac{E * S_o}{100}$$

Ecuación 39

$$C_{efl DBO} = S_o - \frac{E * S_o}{100}$$

Ecuación 40

donde

C_{efl} Concentración en el efluente de DBO o DQO, $kg(DBO/DQO)/m^3$

S_o Concentración inicial de DBO o DQO, kg/m^3

E Eficiencia de remoción de la DBO o DQO del sistema

Producción teórica de metano

$$DQO_{CH_4} = Q_{ip} * [(S_o - C_{efl}) - Y_{obs} * S_o]$$

Ecuación 41

$$K(t) = \frac{P * K_{DQO}}{[R * (273 + T)]}$$

Ecuación 42

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

Ecuación 43

donde

Q_{CH_4} Gasto de metano producido, m^3/d

P Presión atmosférica, $1 atm$

K_{DQO} Constante, $64 gDQO/mol$

R Constante de gas, $0.08206 \text{ atm L/mol K}$

T Temperatura, $^{\circ}\text{C}$

Producción de biogás

Se determina estimando el porcentaje de metano del biogás. Esto para un contenido de metano de 70% presente en el biogás.

$$Qg = \frac{Q_{CH_4}}{0.70} \quad \text{Ecuación 44}$$

donde

Qg Gasto biogás producido, m^3/d

Q_{CH_4} Gasto de metano producido, m^3/d

Dimensionamiento del colector de gas

$$Atg = Lt * Ag \quad \text{Ecuación 45}$$

$$Kg = \frac{Qg}{Atg} \quad \text{Ecuación 46}$$

donde

Atg Área total del colector de gas, m^2

Lt Longitud total del colector de gas, m

Ag Ancho de la parte superior del colector de gas, m

Qg Gasto biogás producido, m^3/d

Dimensionamiento de las aberturas del compartimento del sedimentador

$$Ata = Lt * Aa \quad \text{Ecuación 47}$$

donde

Ata Área total de las aberturas, m^2

Lt Longitud total del colector de gas, m

Aa Ancho de cada abertura, *m*

Dimensionamiento del compartimiento del sedimentador

$$A_{ts} = L_{ts} * A_{es}$$

Ecuación 48

$$v_s = \frac{Q_{ip}}{A_{ts}}$$

Ecuación 49

donde

A_{ts} Área total del sedimentador, *m²*

L_{ts} Longitud total del sedimentador, *m*

A_{es} Ancho efectivo de cada sedimentador, *m*

v_s Tasa de carga de superficie del sedimentador, *m/d*

Q_{ip} Gasto medio, *m³/d*

Producción de lodo

$$Pl = Y * Lo$$

Ecuación 50

$$V_s = \frac{Pl}{y * \frac{c}{100}}$$

Ecuación 51

Pl Producción de lodo del sistema, *kgSST/d*

Y Coef. De remoción de sólidos

Lo Carga de DQO del efluente, *KgDQO/d*

y Densidad del lodo, *kg/m³*

c Porcentaje de concentración del lodo

5.7 Reactor Aerobio de Biomasa Suspendida

Potencia requerida

$$HP = \frac{Q(S - S_e)}{20 a 22} \quad \text{Ecuación 52}$$

donde

HP Potencia requerida para la aireación, HP

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

S Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3

S_e Concentración de DBO a la salida, kg/m^3

Temperatura en el reactor biológico

$$T_a = \frac{41.66667 Q T + 1134 HP T_{amb}}{41.66667 Q + 1334 HP} \quad \text{Ecuación 53}$$

donde

T_a Temperatura del mezclado en el reactor, $^{\circ}C$

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

HP Potencia requerida para la aireación, HP

T_{amb} Temperatura ambiente, $^{\circ}C$

Efecto de la temperatura del reactor aerobio sobre los parámetros biocinéticos

$$K_{T_a} = K_{20} \theta^{T_a - 20} \quad (1.0 < \theta < 1.135) \quad \text{Ecuación 54}$$

$$K_{d, T_a} = K_{d, 20} \theta^{T_a - 20} \quad (1.03 < \theta < 1.06) \quad \text{Ecuación 55}$$

$$b_{T_a} = b_{20} \theta^{T_a - 20} \quad (1.03 < \theta < 1.06) \quad \text{Ecuación 56}$$

donde

$K_{T_a}, K_{d, T_a}, b_{T_a}$ Valores de los parámetros biocinéticos modificados

$K_{20}, K_{d, 20}, b_{20}$ Parámetros biocinéticos medidos a $20^{\circ}C$

θ Coeficiente de Arrhenius

Tiempo de retención hidráulico

El parámetro se calcula para consumo de DBO.

$$TRH = \frac{(S - S_e)}{k SSVLM S_e} \quad \text{Ecuación 57}$$

donde

TRH Tiempo de retención hidráulico, d

S Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3

S_e Concentración de DBO a la salida, kg/m^3

k Parámetro biocinético a la temperatura de mezclado, m^3/kgd

$SSVLM$ Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, kg/m^3

Relación alimento microorganismos A/M

$$\frac{A}{M} = \frac{S}{SSVLM TRH} \quad \text{Ecuación 58}$$

donde

$\frac{A}{M}$ Relación alimento-microorganismos, $kgDBO/kgSSVLMd$

S Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3

$SSVLM$ Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, kg/m^3

TRH Tiempo de retención hidráulico, d

Concentración del sustrato en el efluente

$$S_e = \frac{S}{1 + k (SSVLM)(TRH)} \quad \text{Ecuación 59}$$

donde

S_e Concentración de DBO a la salida, kg/m^3

S	Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3
k	Parámetro biocinético a la temperatura de mezclado, m^3/kgd
$SSVLM$	Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, kg/m^3
TRH	Tiempo de retención hidráulico, d

Volumen del reactor

$$V = Q TRH$$

Ecuación 60

donde

V	Volumen del reactor, m^3
Q	Gasto medio de diseño, m^3/d
TRH	Tiempo de retención hidráulico, d

Producción neta de biomasa

$$\Delta X = \frac{Q Y (S - S_e)}{1 + k_d TRMC} + \frac{Q Y (S - S_e) f_d k_d}{1 + k_d TRMC}$$

Ecuación 61

$$DX = \frac{Q Y (S - S_e)}{1 + k_d TRMC} + \frac{Q Y (S - S_e) f_d k_d}{1 + k_d TRMC} = \frac{Q Y_n (N - N_e)}{1 + k_{dn} TRMC}$$

Ecuación 62

donde

ΔX	Producción neta de biomasa (oxidación de materia orgánica), kg/d
DX	Producción neta de biomasa (oxidación orgánica y nitrificación), kg/d
Q	Gasto medio de diseño, m^3/d
S_e	Concentración de DBO a la salida, kg/m^3
S	Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3
Y	Coefficiente de producción neta de biomasa, $kgSSVLMprod/kgDBO$
k_d	Coefficiente de decaimiento endógeno, $1/d$
$TRMC$	Tiempo de retención medio celular
f_d	Fracción de biomasa remanente de respiración endógena

N Concentración de nitrógeno en la entrada, kg/m^3

N_e Concentración de nitrógeno a la salida

Demanda de oxígeno

$$\frac{kg O_2}{d} = Q(S - S_e) - 1.42\Delta X \quad \text{Ecuación 63}$$

$$\frac{kg O_2}{d} = Q(S - S_e) - 1.42\Delta X + 4.33Q(N - N_e) \quad \text{Ecuación 64}$$

donde

$\frac{kg O_2}{d}$ Requerimiento de oxígeno

S_e Concentración de DBO a la salida, kg/m^3

S Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3

N Concentración de nitrógeno en la entrada, kg/m^3

N_e Concentración de nitrógeno a la salida

ΔX Producción neta de biomasa (oxidación de materia orgánica y nitrificación), kg/d

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

Relación de recirculación

$$r = \frac{Q SSVLM - \Delta X - Q SSV}{Q(SSVr - SSVLM)} \quad \text{Ecuación 65}$$

donde

r Relación de recirculación

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

$SSVLM$ Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, kg/m^3

SSV Sólidos suspendidos volátiles, kg/m^3

$SSVr$ Sólidos suspendidos volátiles de recirculación, kg/m^3

ΔX Producción neta de biomasa (oxidación de materia orgánica y nitrificación), kg/d

Cálculo de flujos

$$Q_R = rQ$$

Ecuación 66

$$Q_m = Q(r + 1) = Q + Q_R$$

Ecuación 67

$$Q_p = \frac{\Delta X + Q SSV - Q SSV_e}{SSV_R - SSV_e}$$

Ecuación 68

$$Q_e = Q - Q_p$$

Ecuación 69

$$Q_l = Q_p + Q_e = Q_m - Q_e$$

Ecuación 70

donde

Q_R Gasto de recirculación, m^3/d

r Relación de recirculación

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

Q_m Gasto de mezcla, m^3/d

Q_p Gasto de purga, m^3/d

Q_e Gasto de salida de agua clarificada, m^3/d

Q_l Gasto de salida de lodo del clarificador secundario, m^3/d

ΔX Producción neta de biomasa (oxidación de materia orgánica y nitrificación), kg/d

SSV Sólidos suspendidos volátiles, kg/m^3

SSV_r Sólidos suspendidos volátiles de recirculación, kg/m^3

SSV_e Sólidos suspendidos volátiles en el efluente, kg/m^3

Concentración de materia orgánica de mezcla

$$S_m = \frac{S + rS_e}{1 + r} = \frac{Q S + Q_R S_e}{Q_m}$$

Ecuación 71

donde

S_m	Concentración de la alimentación de la mezcla, kg/m^3
S_e	Concentración de DBO a la salida, kg/m^3
S	Concentración de DBO a la entrada, kg/m^3
r	Relación de recirculación
Q	Gasto medio de diseño, m^3/d
Q_R	Gasto de recirculación, m^3/d
Q_m	Gasto de mezcla, m^3/d

Concentración de sólidos suspendidos volátiles de mezcla

$$SSV_m = \frac{SSV + rSSV_R}{1 + r} = \frac{Q SSV + Q_R SSV_R}{Q_m}$$

Ecuación 72

donde

SSV_m	Concentración de la alimentación de la mezcla, kg/m^3
SSV	Sólidos suspendidos volátiles, kg/m^3
r	Relación de recirculación
$SSVr$	Sólidos suspendidos volátiles de recirculación, kg/m^3
Q_R	Gasto de recirculación, m^3/d
Q_m	Gasto de mezcla, m^3/d

Nitrógeno requerido

$$NM = 0.122\Delta X$$

Ecuación 73

$$NP = Q_e N_e$$

Ecuación 74

$$ND = QN$$

Ecuación 75

$$BN = ND - NM - NP$$

Ecuación 76

donde

NM	Nitrógeno requerido por formación de microorganismos, kg/m^3
------	--

<i>NP</i>	Nitrógeno perdido por salida de agua tratada, kg/m^3
<i>ND</i>	Nitrógeno disponible en la entrada, kg/m^3
<i>BN</i>	Nitrógeno en balance, kg/m^3
ΔX	Producción neta de biomasa (oxidación de materia orgánica y nitrificación), kg/d

Fósforo requerido

$$PM = 0.023\Delta X \quad \text{Ecuación 77}$$

$$PP = Q_e P_e \quad \text{Ecuación 78}$$

$$PD = QP \quad \text{Ecuación 79}$$

$$BP = PD - PM - PP \quad \text{Ecuación 80}$$

donde

<i>PM</i>	Fósforo requerido por formación de microorganismos, kg/m^3
<i>PP</i>	Fósforo perdido por salida de agua tratada, kg/m^3
<i>PD</i>	Fósforo disponible en la entrada, kg/m^3
<i>BP</i>	Fósforo en balance, kg/m^3
ΔX	Producción neta de biomasa (oxidación de materia orgánica y nitrificación), kg/d

5.8 Sedimentador Secundario

Área de sedimentación

$$As = \frac{Q}{CH} \quad \text{Ecuación 81}$$

donde

<i>As</i>	Área de sedimentación, m^2
<i>Q</i>	Gasto medio de diseño, m^3/d

CH Carga hidráulica superficial, m^3/m^2d

Diámetro del sedimentador

$$D = \sqrt{\frac{4As}{\pi}}$$

Ecuación 82

donde

D Diámetro del sedimentador, m

As Área de sedimentación, m^2

Volumen de sedimentador

$$V = As * h$$

Ecuación 83

donde

V Volumen del sedimentador, m^3

As Área de sedimentación, m^2

h Altura del sedimentador, m

Tiempo de retención hidráulica

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

Ecuación 84

donde

TRH Tiempo de residencia hidráulica, d

V Volumen del sedimentador, m^3

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

Longitud del vertimiento

$$LV = \frac{Q}{CSV}$$

Ecuación 85

donde

CSV Carga superficial en vertedores, $186 \text{ m}^3/\text{m d}$

LV Longitud del vertimiento, m

Q Gasto medio de diseño, m^3/d

Número de vertedores *V notch*

$$NV = \frac{LV}{tv}$$

Ecuación 86

donde

NV Número de vertedores *V notch*

tv Longitud de centro a centro del vertedor notch, 0.25 m

LV Longitud del vertimiento, m

Capítulo 6. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados del dimensionamiento de los elementos que conformarán la propuesta de planta de tratamiento de agua residual. Se presentan los planos arquitectónicos y representaciones gráficas en el Anexo A.

En la tabla 6.1, se presenta el dimensionamiento de las rejillas.

Tabla 6.1 Dimensionamiento y características del canal con rejillas

Concepto	Valor	Unidades
Ancho del canal	2	M
Tirante hidráulico	0.7	M
Bordo Libre	0.3	M
Número de espacios	44	-
Número de barras	43	-
Diámetro de las barras	0.02	M
Inclinación de la reja	60	°
Pérdida Hidráulica	0.00718799	M
Velocidad de acercamiento	0.35	m/s
Velocidad a través de la reja	0.62533782	m/s

En la tabla 6.2, se presenta el dimensionamiento del canal desarenador.

Tabla 6.2 Dimensionamiento y características del canal desarenador

Concepto	Valor	Unidades
Base	1	M
Base inclinada	0.75	M
K	0.33	-
Ancho superior	2.5	M
Tirante hidráulico	0.69739952	M
Bordo libre	0.3	M
Ancho del almacenamiento de arena	0.5	M
Profundidad del almacenamiento de arena	0.2	M
Longitud	8.7	m

En la tabla 6.3, se presenta el dimensionamiento del canal Parshall.

Tabla 6.3 Dimensionamiento y características del canal Parshall

Concepto	Valor	Unidades
W	45.7	cm
A	144.9	cm
B	142	cm
C	76.2	cm
D	102.6	cm
E	91.5	cm
F	61	cm
G	91.5	cm
K	7.6	cm
N	22.9	cm
R	50.8	cm
M	38.1	cm
P	167.6	cm
X	5.1	cm
Y	7.6	cm

En la tabla 6.4, se presenta el dimensionamiento del tanque de igualación.

Tabla 6.4 Dimensionamiento y características del tanque de igualación

Concepto	Valor	Unidades
Ancho	6	m
Largo	6	m
Altura	5	m

En la tabla 6.5, se presenta el dimensionamiento del sedimentador primario.

Tabla 6.5 Dimensionamiento y características del sedimentador primario

Concepto	Valor	Unidades
Diámetro	29.5	m
Profundidad	3.5	m
Pendiente de fondo	80	mm/m
Velocidad de la rastra	0.03	rpm
Tiempo de retención	2.05	h

En la tabla 6.6, se presenta el dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Tabla 6.6 Dimensionamiento y características del Reactor Anaerobio

Concepto	Valor	Unidades	Concepto	Valor	Unidades
Carga de DQO aplicada	235,726.832	KgDQO/d	Eficiencia de remoción de DQO	67.16	-
TRH	8	h	eficiencia de remoción de DBO	75.25	-
Volumen del reactor	7,977.6	m ³	Producción estimada de metano	42,690.4288	m ³ /d
número de módulos del reactor	6	-	Producción estimada de biogás	2,541.09696	m ³ /h
Volumen de cada módulo	1,329.6	m ³	Colectores de gas	6	-
Altura del reactor	10	m	longitud de los colectores de gas	27	m
área de cada módulo	132.96	m ²	Ancho superior de los colectores de gas	0.25	m
Ancho de cada módulo	5	m	Producción de lodo	42430.82	KgSST/d
Largo de cada módulo	27	m	Volumen de lodo	1038.95273	m ³ /d
Velocidad de flujo ascendente	1.25	m/s			

En la tabla 6.7, se presenta el dimensionamiento del reactor biológico aerobio de lodos activados.

Tabla 6.7 Dimensionamiento y características del Reactor Aerobio

Concepto	Valor	Unidad
Potencia para aireación	1,145.57	HP
TRH	1.813747304	h
DBO en el efluente	133	mg/L
volumen del reactor	1808.668811	m ³
Diámetro del reactor	20	m

Altura del reactor	6	m
--------------------	---	---

En la tabla 6.8, se presentan los dimensionamientos para cada uno de los dos sedimentadores secundarios.

Tabla 6.8 Dimensionamiento y características de los sedimentadores secundarios

Concepto	Valor	Unidades
Diámetro	27.60	m
Profundidad	3.5	m
Pendiente de fondo	80	mm/m
Velocidad de la rastra	0.03	rpm
Tiempo de retención	4.2	h
Longitud de vertimiento	64.33	m
Vertedores Notch	257.34	-

El dimensionamiento de cada una de las operaciones y procesos unitarios sigue la tendencia que marca la teoría, pues se garantiza una remoción total del efluente que garantiza estar por debajo de los parámetros que estipula la normativa vigente en el tratamiento del agua residual a nivel nacional y concordando con las medidas estándar que proporcionan los libros de referencia en lo respectivo al tamaño de las estructuras.

Algunas estructuras salen de los parámetros comunes debido a que el agua residual que se pretende tratar, objeto de este trabajo, presenta características de contaminación por DBO, temperatura, DQO, entre otras bastante altas; por este motivo se traduce en que el dimensionamiento de los componentes del tren de tratamiento parecen esta sobre dimensionados.

Además, es de suma importancia reconocer que la propuesta se basa en datos proporcionados por sólo una industria y que si bien, representa una estimación del tren de tratamiento para cualquier otra, se debe aclarar que el dimensionamiento de las operaciones y procesos unitarios variarán de acuerdo al gasto de entrada, y sobre todo a la calidad del agua en el afluente y la calidad de agua que se requiere a la salida del tren; incluso para algún dimensionamiento se propuso un comportamiento común en la variación del afluente, como es el caso del dimensionamiento de tanque de regulación.

Se debe dejar en claro que algunas industrias que procesan Tequila, sólo operan algunos meses al año, debido a que el tiempo de siembra, maduración y cosecha del agave requiere incluso más de 7 años. Esto se traduce en que la operación de la Planta de Tratamiento debe considerar los tiempos en que estará habilitada y que para efectos de este trabajo, el dato proporcionado referente gasto fue dado en m³/año, por lo que se consideró que la Planta de Tratamiento resultado de este trabajo operará durante todo el año, reduciendo el gasto en litros por segundo, considerablemente.

Por cada litro de tequila que esta industria produce, se generan en promedio diez litros de vinazas que deben ser tratadas. Así mismo, por cada litro de vinaza que se trate, se removerán aproximadamente 2.5 kg de contaminantes como nitrógeno, fósforo y sólidos suspendidos totales, esto sin contar los 7 kg de oxígeno que se requiere para reducir la DBO en este litro de vinaza.

Extrapolando los datos anteriores y considerando que en el primer semestre de 2018 se produjeron un millón de litros de tequila diarios, se puede asegurar que si todas las industrias que producen tequila implementaran una planta para tratar sus aguas residuales, se estarían evitando descargar más de 2,400 toneladas de contaminantes diarios a los ríos, mejorando considerablemente la calidad del agua que sirve de abastecimiento para otras poblaciones e industrias.

Finalmente el diseño propuesto será una referencia para que la industria, ya sea pequeña, mediana o grande pueda implementar el tratamiento de sus agua residual que produce, puesto que el diseño garantiza la remoción de contaminantes y así adecuar esta propuesta para las condiciones particulares del agua que se pretenda tratar.

Capítulo 7. Conclusiones

Se propuso y se diseñó una planta de tratamiento de agua residual para la industria tequilera, la cual garantiza que los contaminantes del agua tratada del efluente de la planta, se encuentren por debajo de los límites máximos permisibles que estipula la legislación nacional, además de encontrarse el volumen de contaminantes retirados del agua residual y la proyección de estos si toda el agua industrial para la elaboración del tequila fuera tratada.

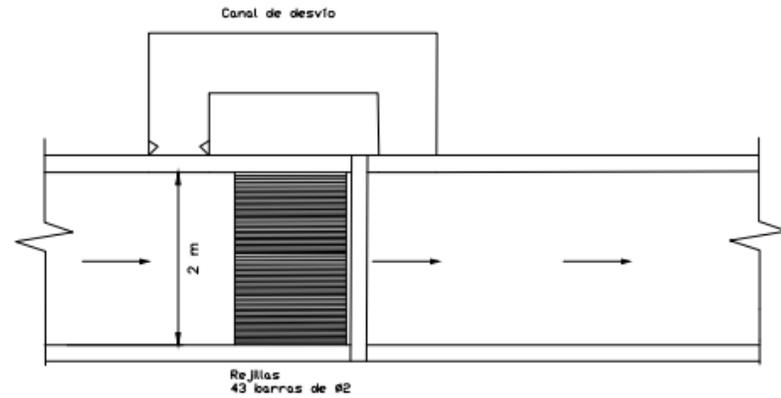
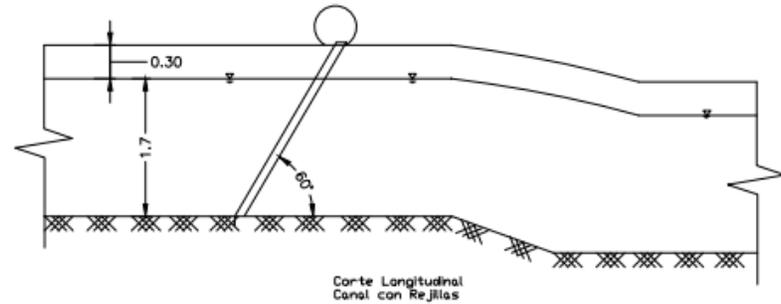
Se realizó una investigación bibliográfica de la problemática ambiental de la industria tequilera en México, considerando la bibliografía disponible, sin embargo la información fue prácticamente nula respecto al impacto ambiental que produce esta industria. Algunos datos se encontraron en los sitios web de las diferentes casas tequileras del municipio. Además se pudo obtener el impacto ambiental por contaminante aislados, principalmente en el libro de Seoáñez, M. (2012).

Se analizó y se sistematizó la información disponible de la situación actual de la industria tequilera y sus afectaciones al medio ambiente, encontrándose que los principales contaminantes que existen en su agua residual son la DBO y la temperatura, producto del proceso industrial que se lleva a cabo para la obtención del Tequila. La generación de estos contaminantes se generan principalmente en el proceso de destilación, sin embargo durante todo el proceso industrial se añaden diferentes contaminantes que regularmente no superan los límites máximos permisibles según la normativa nacional.

Se revisó la normatividad nacional en materia de agua residual proveniente de este sector industrial encontrándose que no existe una regulación exclusiva para esta industria sino que se incluye dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 en cualquiera de sus diferentes casos. Sin embargo durante la investigación histórica de la normatividad respecto al agua residual se encontró que estas normas sustituyeron un compendio de normas que anteriormente existían para cada sector de la industria, es decir que sí existía una norma exclusiva la el sector industrial que producía bebidas (no exclusivamente Tequila) y que posteriormente darían lugar a la NOM-001, NOM-002 y NOM-003 de SEMARNAT para incluir a todos los generadores de agua residual sin importar su procedencia.

Se conoció el proceso de producción de la industria tequilera encontrándose que aunque conserva la producción “artesanal” original, se ha industrializado por completo la producción de la bebida, mejorando la calidad final del producto y obteniendo mayores eficiencias del proceso. Es necesario resaltar que con la industrialización para la obtención de esta bebida se ha incrementado en gran medida su producción y a su vez, la generación del agua residual que se descarga, los cuáles principalmente son descargados en pequeños arroyos cercanos a sus fábricas y que son tributarios al río Santiago.

Se logró obtener los datos reales y controlados por un laboratorio perteneciente a una casa tequilera ubicada en el municipio de Tequila, Jalisco. Se destacan los datos de temperatura, DBO, sólidos suspendidos totales, nitrógeno y fósforo, que representan un elevado índice de contaminación, así como el valor del pH por debajo de la normativa vigente aplicable y otros contaminantes que no superan los límites máximos permisibles.



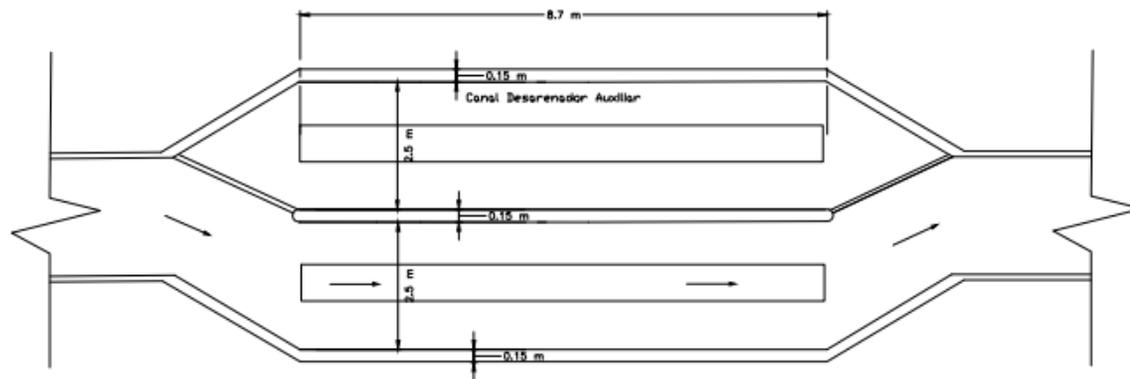
NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALÍMETRO.
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

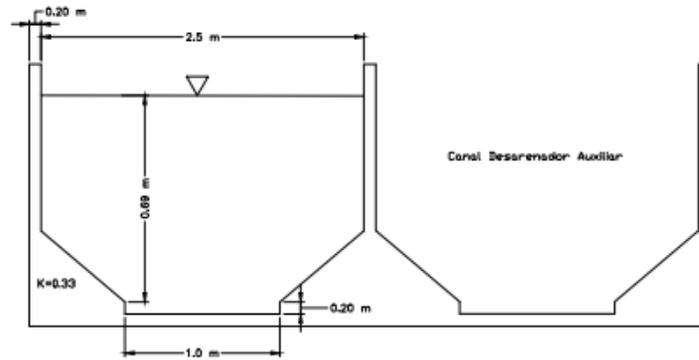
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

SERIE DE PLANOS: TESIS.PTAR
 ACCIONES: METROS
 CLASE: T.M.
 CLASE DE PLANO: A-1

NOMBRE DEL PLANO: CANAL.REJILLAS



Planta Canal Desarenador



Corte Transversal Canal Desarenador

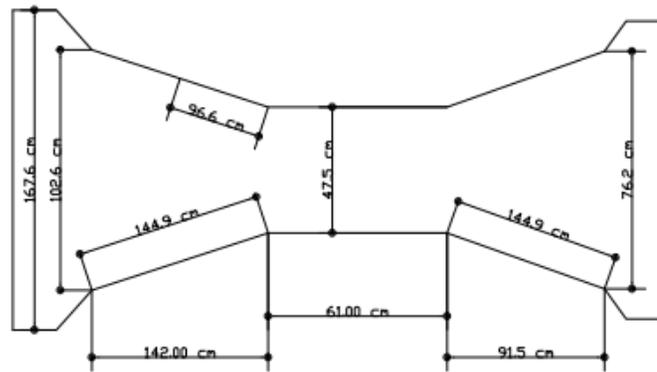
NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO,
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

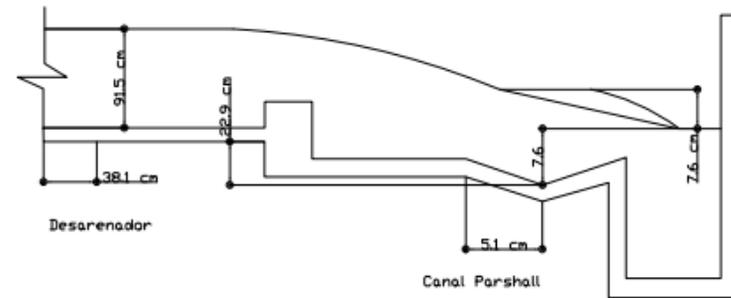
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

SERIE DE PLANOS: TESIS.PTAR
 NOTACIONES: METROS
 CLASE: TALLER
 CLASE DE PLANO: A-2

NOMBRE DEL PLANO: CANAL.DESARENADOR



Planta Canal
Parshall



Corte
Longitudinal
Canal Parshall

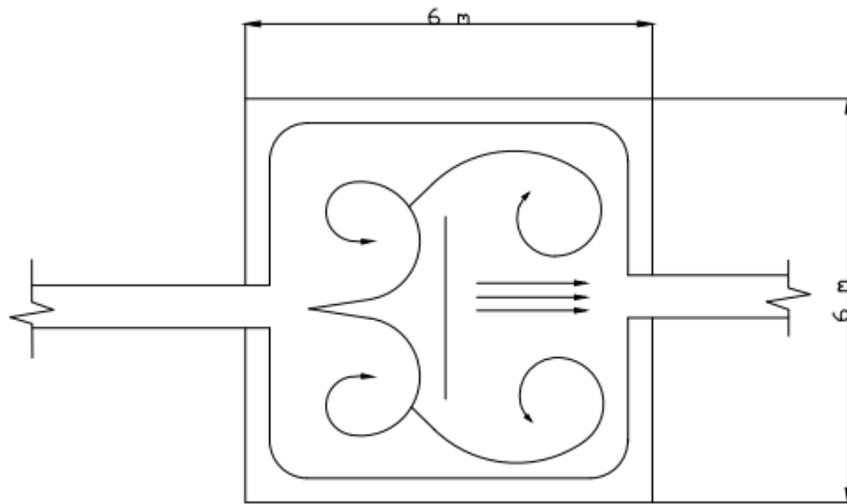
NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO.
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

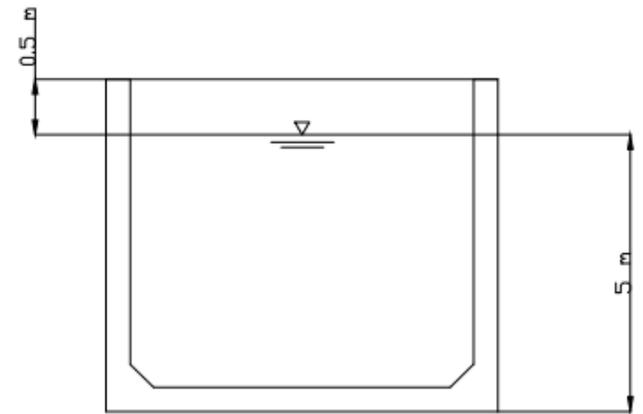
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
 PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

SERIE DE PLANOS: TESIS.PTAR
 ADICIONES: CENTIMETROS
 CLAVE: TAM
 CLAVE DE PLANOS: A-3

NOMBRE DEL PLANO: CANAL.PARSHALL



Vista en planta
del Tanque de
Iguación



Corte
Transversal
Tanque de
Iguación

NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO,
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE
 FABRICAR LOS ELEMENTOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
 PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

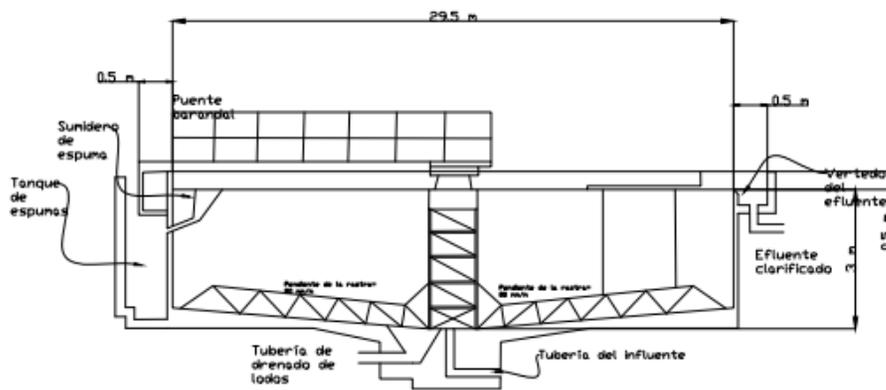
SERIE DE PLANOS:
 TESIS.PTAR

ACERSCIONES:
 METROS

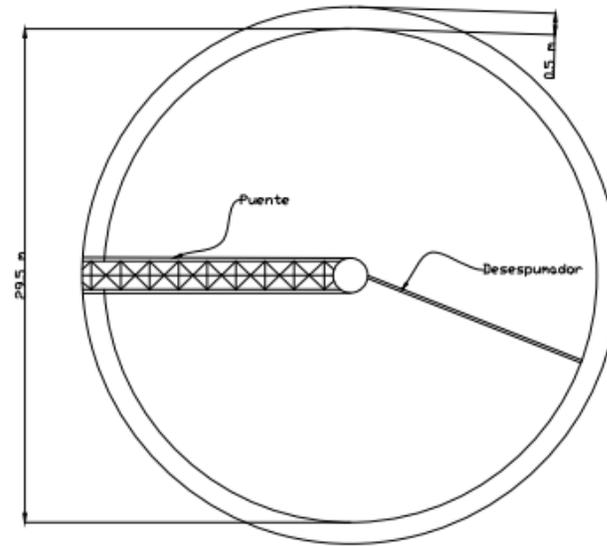
CLAVE
 T.M.
 CLAVE DE PLANOS
 A-4

NOMBRE DEL PLANO:

TANQUE.IGUALACIÓN



Corte Transversal Sedimentador Primario



Vista en planta del Sedimentador primario



NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO.
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

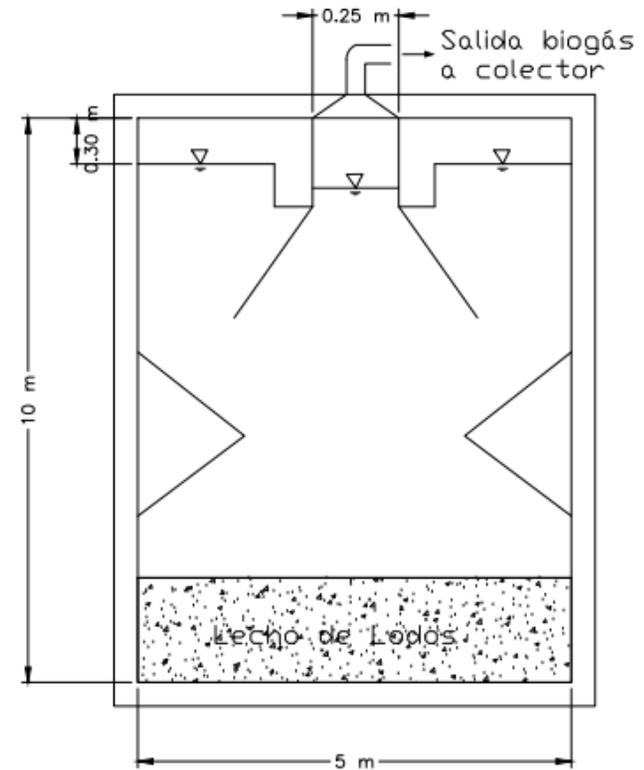
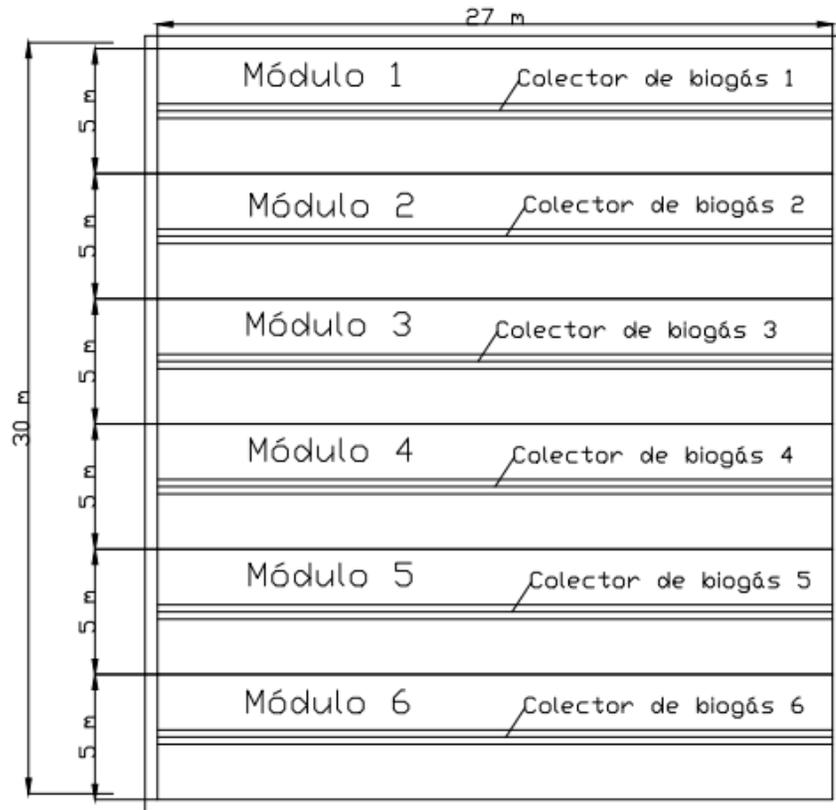
SERIE DE PLANOS:
 TESIS.PTAR

ACOTACIONES:
 METROS

CLAVE:
 TAM
 CLAVE DE PLANOS
 A-5

NOMBRE DEL PLANO:

SEDIMENTADOR.PRIMARIO



NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO.
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

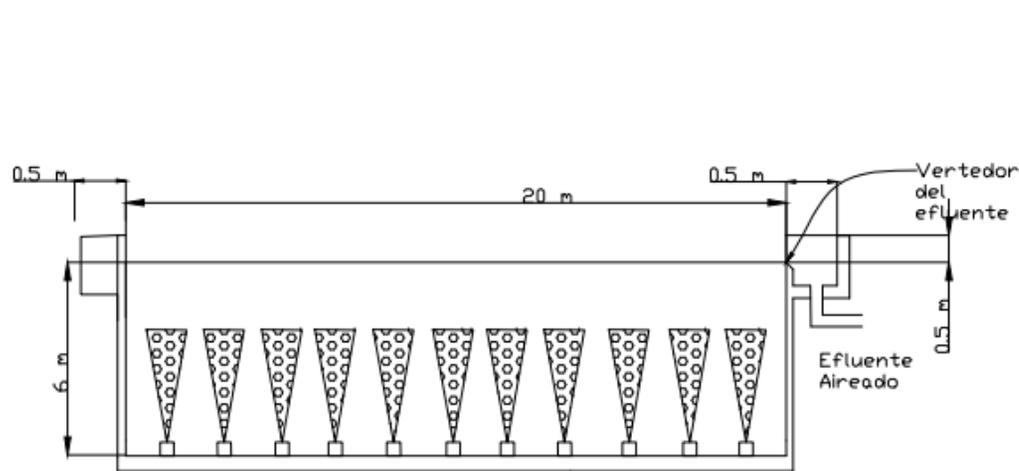
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
 PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

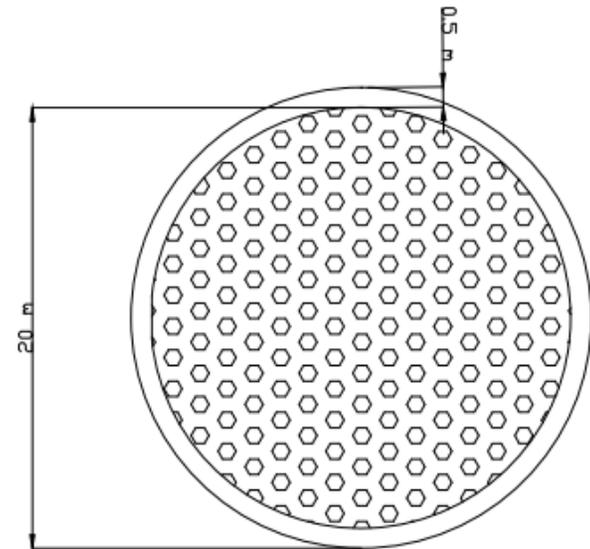
SERIE DE PLANOS:
 TESIS.PTAR

ASIGNATURA:
 METROS
 CLASE
 TAMAÑO
 CLASE DE PLANO
 A-6

REACTOR.ANAEROBIO



Corte Tanque de Aireación



Planta Tanque de Aireación

NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO.
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

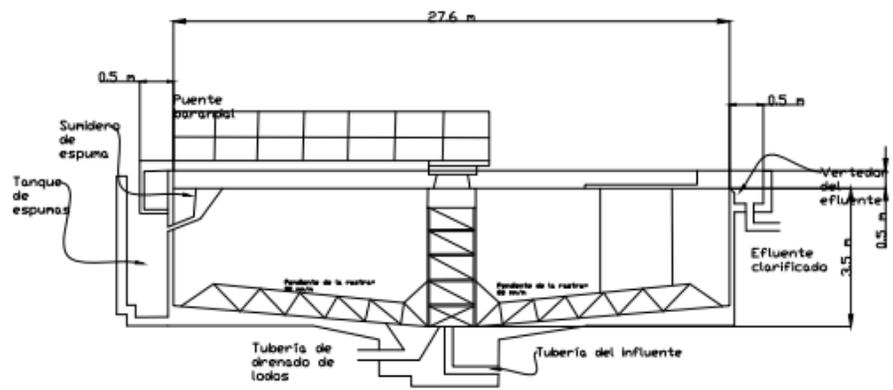
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

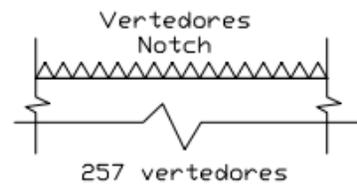
SERIE DE PLANOS:
 TESIS.PTAR

ADICIONES: CLAVE
 METROS: TAMA
 CLAVE DE PLANOS: A-7

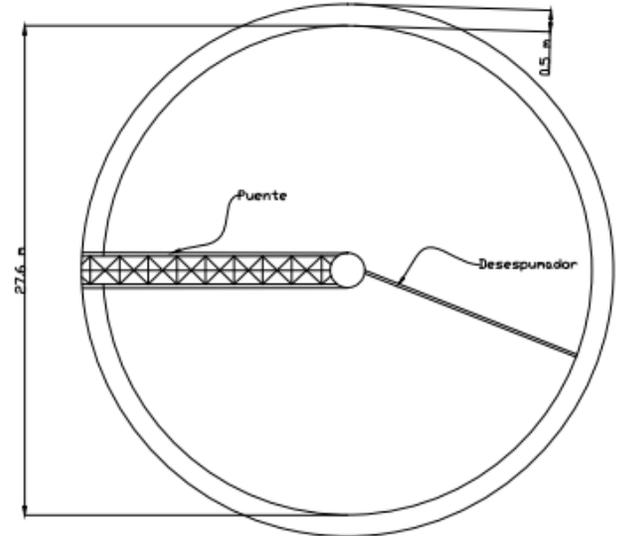
NOMBRE DEL PLANO:
 TANQUE.AIREACIÓN



Corte Transversal Sedimentador Secundario



257 vertedores



Vista en planta del Sedimentador secundario

NOTAS GENERALES:
 -LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 -LAS COTAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA.
 -NO MEDIR EL PLANO CON EL ESCALIMETRO.
 -TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER VERIFICADAS EN OBRA ANTES DE FABRICAR LOS ELEMENTOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA INDUSTRIA TEQUILERA

SERIE DE PLANOS: TESIS.PTAR
 NOMBRE DEL PLANO:
 ACOLOCACION: METROS
 CLASE: TAM
 CLASE DE PLANO: A-8

SEDIMENTADOR.SECUNDARIO

Referencias

- Arredondo, C. (2013). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la zona de Amanalco de Becerra, Estado de México (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, México.
- Bautista, M., García, L., Barbosa, J., & Parra, L. (2001). *El Agave tequilana Weber y la producción de tequila*. México: Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Guanajuato. 11-2, 26-34.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. (2006). *Medio Ambiente*. Recuperado el 12 de febrero de 2019 de http://archivos.diputados.gob.mx/Centros_Estudio/Cesop/Eje_tematico/2_mambiente.htm
- César, E. & Vázquez, A. (2001). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comisión Estatal del Agua Jalisco. (2015). *Ficha Técnica: Hidrología Municipal, Tequila*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2016a). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2016b). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2016c). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Suspendida*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2016d). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2016e). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Avanzados con Fines de Reúso*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (2016f). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Fija*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua. (2018a). *Atlas del agua en México*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua. (2018b). *Estadísticas del agua en México*. México: Autor.

- Consejo Regulador del Tequila A.C. (2009) *Consejo Regulador del tequila: el tequila forja su historia*. México: Autor.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, Querétaro, México, 5 de febrero de 1917. Recuperado el 13 de agosto de 2019 en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum/CPEUM_orig_05feb1917.pdf
- Díaz, J. (2014). *Procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales*. Tunja: Ediciones Universidad de Bocayá.
- Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental A.C. (2016). *Contaminación en México*. Recuperado el 30 de enero de 2019 de <https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/>
- Gallardo, J. (s.f.). *Industria del tequila y generación de residuos*. Recuperado el 5 de enero de 2020 de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=287>
- Gallegos, A. (2019). *Tequileros superan el millón de litros diarios de producción*. Recuperado el 13 de agosto de 2019 de <https://www.informador.mx/economia/Tequileros-superan-el-millon-de-litros-diarios-de-produccion-20190717-0165.html>.
- González, A. (2006). *Ruta del paisaje agavero*. México: Secretaría de Cultura del Estado de Jalisco.
- Instituto de Información Estadística y Geografía. (2018). *Tequila, Diagnóstico del municipio 2018*. Jalisco: Autor.
- Jáuregui, J., Retes, J., Medina, I., Lozano, J., Chávez, N., y Dávila, G. (2011). *Alta remoción de DQO y DBO de las vinazas tequileras usando tratamiento combinado*. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Kenoyer, J. (2019). *Great Bath: Mohenjo Daro*. Recuperado el 22 de abril de 2019 de <https://www.harappa.com/slide/great-bath-mohenjo-daro-0>
- *Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 1 de enero de 1992.
- *Ley del Agua para el Estado de Jalisco y sus Municipios*. Decreto Número 21804/LVII/06, Jalisco, México, 24 de febrero de 2007.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 1° de julio 1992. Recuperado el día 13 de agosto de 2019 de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/130_150618.pdf
- *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 28 de enero de 1988.
- Maca, S., (2014). *Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga*. Colombia: Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Sociales y Económicas.

- Macías, A. (2001). *El clúster en la industria del tequila en Jalisco, México*. Agroalimentaria, 13, 72.
- Metcalf & Eddy. (1997). *INGENIERIA SANITARIA: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. España: McGraw-Hill.
- Nájjar, R. (2017a). *¿Cuál es la mejor manera de extraer el azúcar del agave?*. Recuperado el 9 de abril de 2019, de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/mejor-manera-extraerl-azucar-del-agave>
- Nájjar, R. (2017b). *Procesos de extracción de azúcar del agave*. Recuperado el 9 de abril de 2019, de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/procesos-extraccion-azucar-agave>
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 29 de octubre del 2012. Recuperado el 1 de agosto de 2019 en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5282165
- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas. No. 103-Bis. Ciudad de México, México, 6 de octubre de 2004.
- Noyola, A. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. Recuperado el 5 de abril de 2019 de https://www.researchgate.net/publication/287975365_Seleccion_de_Tecnologias_para_el_Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Municipales_guia_de_apoyo_para_ciudades_pequenas_y_medianas
- Nuñez, R. (2017). *¿Qué es el difusor y cómo funciona?* Recuperado el 9 de abril de 2019, de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/difusor-como-funciona>
- Ochoa, D. (2016). *Introducción al tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 22 de abril de <https://iquimicas.com/proceso-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Ozorio, G. (2017). *Tratamiento de aguas residuales en la industria tequilera*. Recuperado el 29 de abril de 2019 de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/tratamiento-aguas-residuales-industria-tequilera>
- Ramalho, R. S. (1991). *Tratamiento de Aguas Residuales*. España: Editorial Reverté, S.A.
- Ramos, J. (2012). *La vida en la antigua Roma*. Recuperado el 22 de abril de 2019 de <http://arquehistoria.com/categoria/javier-ramos>
- Ramos, J. J. (2017). *Impacto de los residuos de la industria tequilera*. Recuperado el 10 de abril de 2019 de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/impacto-residuos-industria-tequilera>
- Riffat, R. (2013). *Fundamentals of wastewater treatment and engineering*. England: Taylor & Francis Group/IWA publishing.

- Rivera, O. (2018). Añejamiento del tequila y sus mitos. Recuperado el 10 de abril de 2019 de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/anejamiento-tequila-mitos>.
- Rubio, R. (2017). *Innovación en campo en la industria tequilera*. Recuperado el 9 de abril de 2019, de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/innovacion-campo-industria-tequilera>
- Salazar, R. (s.f.) *Tratamiento de Aguas Residuales en Acuicultura*. Colombia: Departamento de Diseño y Construcción. Universidad de Nariño.
- Sánchez, E. (2018). *Doble destilado y triple destilado en los procesos del tequila*. Recuperado el 10 de abril de 2019 de <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/doble-triple-destilado-procesos-tequila>.
- Sánchez, J. & Sanabria, J. (2009). *Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de Nitrógeno, una revisión prospectiva*. Revista Colombiana de Biotecnología, II.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996 NOM-002-SEMARNAT-1996 NOM-003-SEMARNAT-1997*. México: Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua.
- Seoáñez, M. (2012). *Manual de las aguas residuales industriales*. Madrid: McGraw Hill.
- Urzúa, R. (2010). *Promover la calidad, la cultura y el prestigio del tequila es la misión*. Ícono GDL, 16.
- Valenzuela, A. (2003). *El agave tequilero, cultivo e industria en México*. México: Mundi-Prensa México.
- We Are Water Foundation. (2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. Recuperado el 12 de febrero de 2019 de <https://www.wearewater.org/es/aguas->