



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ  
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**CEPOSG**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA REDUCCIÓN DE DESINFECTANTES  
CLORADOS, DETERGENTES, ACEITES Y GRASAS EN LA EMPRESA  
ASISERVY S. A. Y SU REUTILIZACIÓN EN CULTIVOS DE TIPO  
ASOCIATIVO EN EL SECTOR PARQUE DEL ATÚN DEL CANTÓN  
JARAMIJÓ, PERIODO 2017”**

**AUTOR:**

**ING. DANIEL JAVIER MAYORGA SOLIS**

**TUTOR:**

**ING. ELIZALDE EXEQUIEL CARDENAS REYES, Mg.**

**2019**

**MANTA – MANABÍ - ECUADOR**

## **CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL**

### **TEMA**

“Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la reducción de desinfectantes clorados, detergentes, aceites y grasas en la empresa ASISERVY S.A. y su reutilización en cultivos de tipo asociativo en el sector parque del atún del cantón Jaramijó, periodo 2017”.

Sometida a consideración del Tribunal de Revisión y Sustentación de Tesis de Grado del Centro de Estudios de Posgrado, Investigación, Relaciones y Cooperación Internacional de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí como requisito previo a la obtención del Grado de:

Magister en Gestión Ambiental

Aprobado por el Tribunal

Miembro del Tribunal

\_\_\_\_\_

Miembro del Tribunal

\_\_\_\_\_

Miembro del Tribunal

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

El contenido del presente trabajo de titulación que incluye fundamentación, metodología, resultados, conclusiones, recomendaciones y propuesta es original del autor y está bajo su responsabilidad. El contenido de otros autores se encuentra debidamente citado y referenciado.

**ING. DANIEL JAVIER MAYORGA SOLÍS**

**Autor de Tesis**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **Ing. Exequiel Cárdenas Reyes, Mg**, en calidad de Tutor del **Ing. Daniel Javier Mayorga Solís** estudiante de la maestría de Gestión Ambiental Grupo 8 de la segunda corte, certifico que he participado en la supervisión y revisión de su tesis titulada **“Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la reducción de desinfectantes clorados, detergentes, aceites y grasas en la empresa ASISERVY S.A. y su reutilización en cultivos de tipo asociativo en el sector parque del atún del cantón Jaramijó, periodo 2017”**

El documento contiene los elementos necesarios aplicables a la investigación, donde se demuestra amplio conocimiento del tema el cual es desarrollado con solvencia cumpliendo con las normas técnicas y metodológicas requeridas por la institución.

Razones por las cuales considero que la tesis del Ingeniero Daniel Mayorga está lista para presentación del tribunal de revisión y sustentación de tesis del Grado del Centro de Estudio de Posgrado, Investigación, Relaciones, Cooperación Internacional de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

**ING. EXEQUIEL CÁRDENAS REYES, Mg.**

**Tutor de Tesis**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterno agradecimiento **a mi encantadora** esposa Ing. Blanca Verónica, y a mi adorable hijo Matías Sebastián que día a día juntos alimentan mi sed de amor y fortalecen mis ganas de vivir feliz y seguir cosechando triunfos. Gracias a mi amada esposa que me ha sabido comprender y apoyar en todos los momentos difíciles que hemos vivido solo tú puedes hacerlo.

Agradezco a mi familia entera que comprenden padres, hermanos y amigos. Que con su presencia y apoyo moral han sido motivos suficientes para emprender metas y objetivos nuevos. Sus consejos y experiencias han fortalecido mi espíritu de lucha hasta cumplir lo que me he planteado.

Particular agradecimiento a mis profesores y en especial a mi asesor que sin duda supo dar y brindar sus conocimientos para lograr los objetivos planteados.

A todos, GRACIAS.

**Ing. Daniel Javier Mayorga Solís**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a las personas más importantes de mi vida: Mi esposa Ing. Verónica Espín Espín y a mi hijo Matías Sebastián que son el amor de mi vida y que por ellos mi lucha es incansable tratando de ser el mejor esposo, el mejor padre y el mejor amigo.

**Ing. Daniel Javier Mayorga Solís**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1.1. CONTEXTO MACRO, MESO, MICRO .....	1
1.2. ANÁLISIS CRÍTICO .....	3
1.3. PROGNOSIS .....	3
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.7. OBJETIVOS.....	5
1.7.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	6
2.2. FUNDAMENTO FILOSÓFICO.....	14
2.3. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	15
2.3.1. AGUA RESIDUAL .....	15
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL .....	16
2.3.3. TIPOS DE CONTAMINANTES Y SUS FUENTES .....	16
2.3.4. TIPOS DE AGUA RESIDUAL.....	21
2.3.5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	22
2.3.6. TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES.....	23
2.3.7. TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES.....	25
2.3.8. TRATAMIENTO Terciario de aguas residuales .....	28
2.3.9. TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES .....	30
2.3.9.1. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE MATERIA EN SUSPENSIÓN .....	31

2.3.10. REUTILIZACIÓN DE AGUAS INDUSTRIALES .....	69
2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL .....	71
2.5. HIPÓTESIS .....	83
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>84</b>
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>84</b>
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	84
3.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....	84
3.2.1. EXPERIMENTACIÓN.....	85
3.2.2. OBSERVACIÓN .....	85
3.2.3. ANÁLISIS .....	85
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....	86
3.4. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	86
3.5. PROCEDIMIENTOS .....	87
3.5.1. TOMA DE MUESTRAS .....	87
3.5.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA.....	88
3.5.3. DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMAS Y SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO .....	93
3.6. RECOLECCIÓN Y TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	100
3.7. PLAN PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	100
3.8. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	101
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>102</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>102</b>
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS .....	102
4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	106
4.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	106
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>107</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	107
5.2. RECOMENDACIONES .....	107



<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>109</b>
<b>6. PROPUESTA</b> .....	<b>109</b>
6.1. JUSTIFICACIÓN .....	109
6.2. FUNDAMENTACIÓN .....	110
6.3. OBJETIVOS .....	110
6.4. IMPORTANCIA .....	110
6.5. UBICACIÓN SECTORIAL .....	111
6.6. FACTIBILIDAD .....	111
6.7. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....	111
6.7.1. MEDICIÓN DE CAUDALES .....	111
6.7.2. DIMENSIONAMIENTO DE CAPACIDADES Y DISEÑO .....	113
6.7.3. ESQUEMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	141
6.8. DESCRIPCIÓN DE LOS BENEFICIARIOS .....	143
6.9. PLAN DE ACCIÓN .....	143
6.10. ADMINISTRACIÓN .....	144
6.11. FINANCIAMIENTO .....	144
6.12. PRESUPUESTO .....	146
6.13. EVALUACIÓN .....	146
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>148</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>150</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Poder coagulante relativo de distintos reactivos .....	39
<b>Tabla 2</b> Características de algunos reactivos coagulantes .....	40
<b>Tabla 3</b> Propiedades de típicos resinas ácidas .....	45
<b>Tabla 4</b> Criterios de Calidad de Aguas para riego Agrícola .....	79
<b>Tabla 5</b> Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego .....	80
<b>Tabla 6</b> Operacionalización de las variables .....	86

<b>Tabla 7</b> Resultados de análisis físico –químico del agua residual VS Criterios basados en la tablas 3 y 4 respectivamente del anexo uno del acuerdo ministerial 061 del Tulsma.....	89
<b>Tabla 8</b> Resultados de análisis físico –químico del agua residual VS Criterios basados en la tablas 3 y 4 respectivamente del anexo uno del acuerdo ministerial 061 del Tulsma.....	90
<b>Tabla 9</b> Resultados de microbiológico del agua residual VS Criterios basados en la tablas 3 del anexo uno del acuerdo ministerial 061 del Tulsma.....	91
<b>Tabla 10</b> Nivel de grasas de las muestras.....	92
<b>Tabla 11</b> Nivel de conductividad e índice sar de las muestras.....	92
<b>Tabla 12</b> Análisis físico – químico de las aguas residuales .....	93
<b>Tabla 13</b> Cuadro de evaluación de combinaciones primera parte.....	94
<b>Tabla 14</b> Cuadro de evaluación de combinaciones segunda parte .....	95
<b>Tabla 15</b> Resultados de prueba con floculante anionico.....	103
<b>Tabla 16</b> Resultados de prueba con floculante catiónico .....	105
<b>Tabla 17</b> Resultados de análisis del agua tratada por proceso físico - químico .....	106
<b>Tabla 18</b> Estimación de caudales .....	112
<b>Tabla 19</b> Cuadro de responsabilidades de la propuesta.....	144
<b>Tabla 20</b> Costos del proyecto de inversión .....	146
<b>Tabla 21</b> Cálculo de Retorno de la Inversión del proyecto .....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Flujo Actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	87
---	----

<b>Figura 2</b> Muestra de agua cruda.....	96
<b>Figura 3</b> Adición de químicos en muestra de agua cruda .....	96
<b>Figura 4</b> Muestra de agua piscina 3 .....	97
<b>Figura 5</b> Pruebas paralelas en laguna 3 .....	97
<b>Figura 6</b> Pesos de lodos de pruebas paralelas .....	98
<b>Figura 7</b> Pruebas paralelas en laguna 4.....	98
<b>Figura 8</b> Adición de químicos en agua de laguna 3 .....	99
<b>Figura 9</b> Adición de químicos en agua de laguna 4 .....	100
<b>Figura 10</b> Tanque de igualación.....	117
<b>Figura 11</b> Sedimentador .....	122
<b>Figura 12</b> Sistema de lagunas.....	140
<b>Figura 13</b> Propuesta de Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	141

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Proceso de fangos activados.....	150
<b>Anexo 2</b> Diagrama de operación típico de un filtro percolador.....	150
<b>Anexo 3</b> Reactor anaerobio de contacto .....	151
<b>Anexo 4</b> Saneamiento Convencional: Linear e insostenible.....	151
<b>Anexo 5</b> Saneamiento Ecológico: Circular y sostenible.....	152
<b>Anexo 6</b> Tratamiento físico - químico .....	152
<b>Anexo 7</b> Presupuesto de inversión de Etapa 2 .....	153
<b>Anexo 8</b> Área destinada para el Sistema de lagunaje .....	154
<b>Anexo 9</b> Flujo General del Uso y Gestión de las Aguas Residuales .....	155

<b>Anexo 10</b> Esquema del Tratamiento preliminar y Físico – Químico .....	156
<b>Anexo 11</b> Esquema del Tratamiento Biológico con sistema de lagunaje .....	157
<b>Anexo 12</b> Esquema del Tratamiento de Aguas Residuales .....	158

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación está orientado al Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la reducción de desinfectantes clorados, detergentes, aceites y grasas en la empresa ASISERVY S.A. y su reutilización en cultivos de tipo asociativo, para lo cual fue necesario realizar toma de muestras y análisis de laboratorio de las aguas provenientes de cada una de las fases del proceso actual de tratamiento para ser comparados con los parámetros permitidos de descarga y para uso en riego. En base a ello se realizó un análisis de los datos obtenidos con el fin de determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales que se ajuste a las condiciones actuales de la empresa.

Mediante las pruebas físico-químicas de laboratorio realizadas, se determinó que la dosificación de químicos floculantes y coagulantes produjeron un 2,33% de remoción de contaminantes usando floculante anionico y un 0,76% con floculante catiónico. El efluente fue analizado luego de la aplicación del tratamiento físico – químico comprobando que contribuye a la disminución efectiva de parámetros y permitió optimizar la remoción de contaminantes generados, encontrándose dentro de los rangos establecidos por la Legislación ambiental. En base al mejoramiento y la reestructuración de los procesos se dimensionó y se estableció el diseño de la Planta de Tratamiento.

## **SUMMARY**

The present titration work is oriented to the design of a wastewater treatment system for the reduction of chlorinated disinfectants, detergents, oils and fats in the company ASISERVY S.A. and its reuse in associative-type crops, for which it was necessary to take samples and laboratory analysis of the water coming from each of the phases of the current treatment process to be compared with the permitted parameters of discharge and for use in irrigation. Based on this, an analysis of the data obtained was carried out in order to determine the wastewater treatment system that is adjusted to the current conditions of the company and that allows to reduce the parameters considered, based on the permissible limits to be reused in irrigation.

Through physical-chemical laboratory tests, it was determined that the dosage of flocculating and coagulating chemicals produced 2.33% removal of contaminants using anionic flocculant and 0.76% with cationic flocculant. The effluent was analyzed after the application of the physical - chemical treatment, verifying that it contributes to the effective decrease of parameters and allowed to optimize the removal of pollutants generated, being within the ranges established by the Environmental Legislation. Based on the improvement and restructuring of the processes, the design of the Treatment Plant was sized and established.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El tratamiento de aguas residuales es visto como un gasto dentro de la empresa, pero se pretende convertir en una inversión que permita recuperar el recurso agua que se está contaminando y obtener el retorno económico mediante una correcta planificación, acción, revisión y mejora continua de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con la correcta Gestión Ambiental, mediante una correcta planificación, acción, revisión y mejora continua del mismo.

La Gestión Ambiental en la empresa ASISERVY S.A se concibe entonces como un proceso de interés a largo plazo en el que se busca prever y resolver las problemáticas ambientales, así como mantener y fortalecer potencialidades hacia un desarrollo sostenible, proponiendo para ello, el uso racional de recursos y un ambiente saludable.

#### **1.1. CONTEXTUALIZACIÓN**

##### **1.1.1. CONTEXTO MACRO, MESO, MICRO**

“En el 2016 las Naciones Unidas en su informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo manifiesta que a medida que avanzan la tecnología industrial y la comprensión del papel esencial del agua en la economía, aumentan las tensiones ambientales a que se somete dicho recurso, la industria va tomando medidas para reducir el consumo de agua por unidad producida, mejorando de esta forma la productividad del agua industrial. E indica que el

derecho al agua potable y al saneamiento es un requisito indispensable e integral para la consecución de otros derechos humanos, sobre todo el derecho a la vida y a la dignidad, a una alimentación y a una vivienda adecuada, así como el derecho a la salud y al bienestar, incluido el derecho a unas condiciones laborales y ambientales saludables”. (Unesco, 2016)

“La producción industrial a nivel mundial aporta beneficios económicos, pero es también una importante fuente de contaminación. Se ha incrementado de manera acelerada el desarrollo en el sector, lo que ha aportado en la emisión de sustancias contaminantes al ambiente”.

“Los grandes avances con respecto al acceso del agua en la última década, han posicionado al Ecuador como un referente regional en la gestión del recurso hídrico, según lo indicó la Secretaría Técnica del Agua en su II Foro Internacional en conmemoración al día Mundial del agua”. (Unesco, 2016)

“En Ecuador, el interés por conservar el medio ambiente ha ido aumentando a través de los años, por ello se han implementado leyes, ordenanzas y acuerdos que someten a regulaciones de sus descargas líquidas, sólidas o gaseosas debido a la falta de conciencia socio ambiental; tanto a personas, instituciones o empresas de diversos sectores”.

“Es por ello, que en la actualidad las empresas se ven en la necesidad de preservar el medio ambiente mediante proyectos que implican inversiones en plantas de tratamientos que se ajusten a sus procesos, con la finalidad de no descargar aguas con agentes contaminantes a la naturaleza”.



La empresa ASISERVY S.A pese a ser una de las principales empresas atuneras en la ciudad, tiene un sistema de tratamiento de sus aguas residuales muy deficiente, lo que le repercutirá en un futuro a tener sanciones por verter aguas residuales al medio ambiente contaminando a las reservas de agua del subsuelo.

## **1.2. ANÁLISIS CRÍTICO**

“La contaminación que genera la empresa al medio ambiente provocada por los diversos factores químicos que se emplean en sus procesos, se debe al deficiente sistema que posee para tratarlos. Ante el actual problema que posee la empresa y que requiere inmediata solución surge la necesidad de la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que se ajuste a su instalación industrial y que contribuya a mejorar la calidad de agua que se descarga, salvaguardando el medio ambiente y sobre todo la salud humana”.

## **1.3. PROGNOSIS**

“De no ejecutarse la propuesta de la presente investigación, ASISERVY seguirá generando efluentes contaminantes disueltos en el agua lo, que conduce directamente a un impacto ambiental a la naturaleza y la planta industrial a largo plazo. Sin el tratamiento adecuado, impactando a la problemática ambiental de la planta a largo plazo”.

## **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente la empresa carece de un sistema de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del efluente generado en sus procesos.

¿El diseño de un sistema de tratamiento y reutilización del recurso aportará a la disminución de la contaminación del agua descargada al medio ambiente?

## **1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

**Campo:** Procesos Industriales.

**Área:** Ciencias Ambientales.

**Aspecto:** Tratamiento de aguas residuales en ASISERVY S.A

**Delimitación Espacial:** Jaramijó.

**Delimitación Temporal:** Año 2017.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

“El efluente generado en la empresa ASISERVY S.A. ubicada en el cantón Jaramijó, no dispone de tratamiento alguno convirtiéndolo en un contaminante para el medio ambiente. Frente a esta problemática a través de métodos y técnicas se propone reducir efluentes de manera que esta agua se pueda reutilizar con fines sustentables y aprovechables a través de los bajos niveles de remoción que produce un sistema, se justifica la realización del diseño de un sistema de tratamiento que permita la operación y optimización del proceso, mejoramiento de las características y parámetros del agua generada y aprovechando de manera eficiente este recurso hídrico para cultivos de tipo asociativo”.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir desinfectantes clorados, detergentes, aceites y grasas en la empresa ASISERVY del cantón Jaramijó, período 2017.

### **1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Caracterizar el estado inicial de las aguas residuales en la empresa ASISERVY.
- ✓ Obtener los resultados de la reducción de contaminantes para la reutilización en cultivos de tipo asociativo.
- ✓ Propuesta de solución.
- ✓ Estructurar el protocolo para la operatividad, tratamiento y recuperación del agua tratada del sistema propuesto.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

“La reutilización es una práctica que viene desarrollándose desde hace más de 2.000 años, bien sea de modo espontáneo, directo o indirecto. Actualmente, son cada vez más los países que consideran la reutilización de las aguas residuales un elemento fundamental de sus políticas hídricas. Cabe citar a los Estados Unidos, Japón o Israel, como ejemplos de vanguardia en el aprovechamiento de agua regenerada. El primer sistema de reutilización de aguas residuales se instaló, en 1926, en Grand Canyon Village (Arizona), donde la escasa agua potable disponible debía bombearse desde un manantial situado en el fondo del Gran Cañón, salvando un desnivel de 1.000 m. El agua regenerada así distribuida, se emplea en la mayoría de los usos urbanos no potables, incluyendo riego de parques, extinción de incendios y uso en cisternas de servicios sanitarios. El mayor sistema de distribución de aguas regeneradas en operación hoy día, comenzó a instalarse en 1977 en la ciudad de St. Petersburg (Florida). Su desarrollo fue motivado por las elevadas exigencias impuestas por las autoridades para el vertido de efluentes a la Bahía de Tampa y la fuerte sobreexplotación sufrida por los acuíferos regionales. El establecimiento de un programa eficaz de reutilización, es hoy en Florida un requisito obligatorio para el otorgamiento de concesiones de gestión de aguas residuales. Actualmente, la experiencia internacional sobre la regeneración y reutilización de las aguas residuales es muy

amplia; existe una veintena de países que realizan de alguna manera esta práctica. Esta evolución se ha dado particularmente en los países desarrollados. En este momento, la regeneración y reutilización de las aguas residuales cobran un papel de gran importancia, pues además de solucionar el problema de contaminación, permiten aumentar la disponibilidad de agua”. (Arnálz, 2013)

“En un inicio, el hombre se limitaba a usar el agua para subsistir. La difusión de hábitos higiénicos y el desarrollo industrial hicieron que aumentara el consumo de agua por el hombre. El consumo de agua en el planeta se ha incrementado un 350% desde 1950, creciendo a un ritmo superior a la población. Y, aunque el agua es la sustancia más abundante en la superficie de la tierra, sólo muy poca agua es utilizada para el consumo del hombre, ya que: el 90 % es agua de mar y tiene sal, el 2 % es hielo y está en los polos, y sólo el 1 % de toda el agua del planeta es dulce, encontrándose en ríos, lagos y mantos subterráneos. Hoy en día, se considera que el agua escasea, a esto se une el desperdicio y aumento de demanda, la contaminación de ríos, lagos y otros manantiales, en tal grado, que impide su utilización para el consumo humano, industrial o agrícola. En la actualidad, más de un tercio del planeta se encuentra en situación de escasez de recursos hídricos. Europa también se encuentra al límite de su capacidad de abastecimiento, en especial España. La forma de minimizar el problema es consumir a menor velocidad de la que se recargan los sistemas hídricos, poner coto a la contaminación de ríos, lagos y acuíferos, y buscar otras fuentes alternativas de agua como, por ejemplo, la reutilización del agua residual depurada”. (Arnálz, 2013)

“El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso, y su posesión constituye un factor esencial de civilización, de lo que da testimonio la historia de los asentamientos de la humanidad. La escasez de recursos hídricos naturales en zonas áridas y semiáridas constituye un problema, a veces dramático, para la población asentada en ellas, como es el caso de las regiones mediterráneas, en las que la creciente acumulación de población unida a una escasa pluviometría, irregularmente distribuida en el tiempo, y a unos limitados recursos superficiales, están llevando al agotamiento o al deterioro irreversible de los recursos subterráneos. En este contexto, la reutilización de las aguas residuales urbanas se perfila como una fuente adicional de agua merecedora de ser tomada en cuenta en la gestión global de los recursos hídricos, junto a medidas ya tradicionales como los trasvases desde cuencas excedentarias, la construcción de embalses para regular recursos superficiales y otras medidas más innovadoras y costosas como la desalación de agua de mar. La existencia de vertidos líquidos urbanos e industriales, con poca o nula depuración, que alcanzan cursos superficiales de agua y acuíferos, junto a depósitos de residuos sólidos urbanos o industriales no controlados y las aportaciones, poco racionales a veces, de fertilizantes y fitosanitarios en agricultura, provocan una contaminación artificial de las aguas que agrava significativamente su carencia con una importante pérdida de calidad. Las aguas residuales, como consecuencia de la incorporación a las aguas de abastecimiento de los restos de la actividad humana e industrial, pueden ser contempladas como un "caldo" que contiene millones de microorganismos aerobios y anaerobios, elementos orgánicos e

inorgánicos disueltos y sólidos en suspensión. Además de la carga orgánica, el uso doméstico aporta sustancias minerales, que en unos casos añadirán valor fertilizante y en otros pueden suponer una carga tóxica limitante para su reutilización (metales pesados como Cd, Hg o Zn).

2 Cuando se dispone de suficiente agua de buena calidad, lo lógico es pensar en eliminar la residual, una vez que ha sido tratada, vertiéndola a algún medio receptor: río, mar, rambla, etc. En caso de limitadas disponibilidades de agua, sería un lujo no considerar la posibilidad de su aprovechamiento. Pero en una y otra situación será imprescindible proceder a la descarga de la contaminación incorporada a las aguas residuales, para evitar repercusiones indeseables sobre el medio ambiente y la salud pública, sometiéndolas a un grado de depuración que será función del origen de la carga contaminante, de la sensibilidad del medio receptor en caso de vertido o del destino que vayan a tener en caso de aprovechamiento posterior. Esta necesidad de depuración, no es sólo aconsejable, sino que está recogido por las distintas legislaciones y se convierte en una obligación para muchos países, entre ellos los países miembros de la U.E. según diversas directivas del Consejo, entre las que hay que destacar la de 21 de Mayo de 1991, que establece el compromiso para los Estados miembros de recoger las aguas residuales de aglomeraciones urbanas, de instalar sistemas de tratamiento adecuados para las mismas y define criterios para la determinación de zonas de vertido sensibles (lagos, arroyos, estuarios, bahías) y zonas menos sensibles. Asimismo, se fijan plazos para el cumplimiento de tales medidas, en defensa del medio ambiente, que oscilan entre el 31 de diciembre del año 2000 para aglomeraciones de más de

15.000 habitantes y el 31 de Diciembre del año 2005 para núcleos de 2.000 a 15.000 habitantes”. (Pérez, 2003)

“La reutilización en agricultura de las aguas residuales tratadas es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. Además de estas presiones se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias. El estrés hídrico también se produce por las aguas residuales y la escorrentía de las ciudades (gran parte de éstas aguas sólo se trata parcialmente), por los excesos de fertilizantes agrícolas y por otras causas de contaminación hídrica. Esta contaminación produce, entre otras cosas, la eutrofización de las aguas superficiales trayendo consigo la proliferación de algas. Además, la contaminación del agua empeora la escasez al reducir la cantidad de agua segura para el consumo humano. Los mismos factores provocan hipoxia (agotamiento del oxígeno) en los estuarios y aguas costeras, lo que afecta a la pesca y al resto de vida acuática e impactan de manera negativa en la integridad del ecosistema. Éste es un problema tanto para el medioambiente como para las economías locales que dependen del turismo y de la pesca. La escasez de agua tiene altos costos económicos, sociales y políticos. Se estima que la sequía en Kenia entre el



año 1998 y 2000 redujo el PIB en un 16% durante ese periodo, lo que afectó especialmente a los productos industriales, energía hidroeléctrica, agricultura y ganado. El costo de mitigar la crisis hídrica conlleva actualmente altas sumas de dinero en regiones tan diversas como California, España, norte de China y Australia. En tiempos de escasez extrema, las autoridades nacionales suelen optar por derivar el agua de los agricultores hacia las ciudades, dado que el agua tiene mayor valor económico en el uso industrial y urbano que en la mayoría de los usos agrícolas. En estas circunstancias, el uso de agua regenerada en agricultura permite conservar agua dulce para un fin de mayor valor económico y social y, al mismo tiempo, los agricultores reciben un suministro de agua fiable y rico en nutrientes. Este intercambio también puede acarrear beneficios ambientales, al permitir la asimilación de los nutrientes de las aguas residuales por las plantas y reducir así la contaminación aguas abajo. Los proyectos de reutilización del agua pueden ofrecer un doble o incluso triple “dividendo”, para los usuarios urbanos, agricultores y el medioambiente. En situaciones críticas de estrés hídrico, el uso de agua regenerada debe considerarse como una opción. En dicho caso, la inacción, un escenario “sin proyecto”, implicará costos que irán aumentando con el tiempo, mientras que las soluciones alternativas, como trasvases de urgencia, pueden tener grandes costos por sí solas. Rechazar la opción de la reutilización podría ser muy costoso en dichas situaciones”. (Winpenny, 2013)

“El agua es un recurso caracterizado por ser renovable, sin embargo, actualmente por la importancia que tiene en las actividades domésticas, industriales y agrícolas, es necesario que pueda ser tratada para ser aprovechada

nuevamente. Las Naciones Unidas en su informe sobre “El Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo” propone como uno de sus desafíos, el de promover una industria más limpia en beneficio de todos, ya que el crecimiento industrial es constante y el agua es uno de sus recursos básicos para el desarrollo normal de sus procesos. La contaminación es la acumulación de sustancias en un medio natural, las cuales son el resultado de las actividades humanas que ocasiona efectos negativos en los ecosistemas afectados, la cual ha venido tomando gran importancia a medida que se va conociendo el grave impacto en el medio ambiente”. (Díaz, 2016). Debido a ello, se han buscado nuevas alternativas para reducir la contaminación mediante sistemas de tratamiento de aguas.

Se procedió al análisis de tres casos referentes al tratamiento de aguas residuales industriales y su reutilización, los mismos que aportaron al desarrollo del presente proyecto de investigación.

PRIMER CASO: (Ronquillo, 2016) – Trabajo de Titulación como requisito para la obtención del título de Magister en Gestión Ambiental, titulado “Diseño de una planta de Tratamiento de Agua Residuales para ser utilizada en el Riego del Parque Samanes”.

Objetivo.- Diseñar una planta de tratamiento para utilizar el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales “Los Merinos” de la ciudad de la Guayaquil en riego de las áreas verdes del parque Samanes.

Metodología.- Uso de recursos y estadísticas proporcionados por las instituciones a cargo de la planta de tratamiento Los Merinos y del Parque Samanes, visitas al

sitio, procesamiento, análisis y caracterización del efluente y finalmente selección del tipo de tratamiento.

SEGUNDO CASO: (Díaz, 2016).- Monografía para optar por título de Ingeniero de Producción, titulado “Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicado a los hogares de Bogotá D.C.”

Objetivo. - Diseñar un sistema de tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicada a los hogares de Bogotá D.C

Metodología. - Estudio de tipo bibliográfico, recopilación y análisis de la información mediante encuestas y entrevistas.

TERCER CASO: (Morales, 2009).- Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria, titulada “Evaluación del crecimiento inicial de cuatro especies forestales (*Azadirachta indica*, *Ziziphus thyriflora*, *Prosopis multiflora*, *Leucaena leucocephala*) regadas con agua residual de las lagunas de oxidación de los cantones Santa Elena y La Libertad en la Prov. De Santa Elena”.

Objetivo.- Evaluar los efectos de dos tipos de agua residual de lagunas de oxidación sobre cuatro especies forestales de importancia en la Península d Santa Elena.

Metodología. - Estudio de tipo experimental, análisis y métodos estadísticos.

CUARTO CASO: (Propuesto por el autor). - El presente trabajo de estudio, titulado el “Diseño de una planta de Tratamiento de Aguas Residuales para luego ser utilizadas en el regadío de cultivos de tipo asociativos”.

Objetivo. - Diseñar una planta de tratamiento para utilizar el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de ASISERVY S.A del cantón Jaramijó en

riego de cultivos asociativos en los terrenos de propiedad del Eco. Gustavo Núñez.

Metodología. - Dimensionamiento de capacidades y determinación del tipo de tratamiento para procesar el 100% de las aguas residuales provenientes del proceso de producción de la empresa ASISERVY S.A con la obtención de parámetros que indica la normativa para regadío de cultivos asociativos.

## **2.2. FUNDAMENTO FILOSÓFICO**

“El recurso hídrico, el agua, es propiedad de todos los seres vivos del planeta, pues; no sólo la bebemos nosotros los humanos sino también otros billones de habitantes animales y vegetales del planeta. Ecológicamente el agua forma parte del medio ambiente en que vivimos y de nuestras emociones y sentimientos, así como de nuestros recuerdos de infancia, de nuestra naturaleza, de nuestros paisajes, de nuestra cultura, de nuestros ríos y de nuestros pueblos. Esta interrelación agua-hombre va asociada al sentido de belleza, al sentido de armonía de nuestra tierra, de nuestro pueblo, y de nuestra calidad de vida. El agua es el principal recurso ambiental para la ecología mundial y toda la biodiversidad, pues este recurso ambiental es un elemento esencial para la existencia y trascendencia de la vida y por ello la variable ambiental con su amplitud ecológica debe insertarse como el eje transversal para el desarrollo socio-económico-cultural de las poblaciones humanas. Además del agua la mayor parte de los recursos naturales, pueden ser renovables, al poder mantener su carácter circulante, dependiendo del manejo que se haga de los mismos”. (Hernández, 2016)

### **2.3. FUNDAMENTO TEÓRICO**

“El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso, y su posesión constituye un factor esencial de civilización, de lo que da testimonio la historia de los asentamientos de la humanidad. La existencia de vertidos líquidos urbanos e industriales, con poca o nula depuración, que alcanzan cursos superficiales de agua y acuíferos, junto a depósitos de residuos sólidos urbanos o industriales no controlados y las aportaciones, poco racionales a veces, de fertilizantes y fitosanitarios en agricultura, provocan una contaminación artificial de las aguas que agrava significativamente su carencia con una importante pérdida de calidad”. (Pérez, 2003)

#### **2.3.1. AGUA RESIDUAL**

“El agua residual puede definirse como agua de composición variada de líquidos y residuos sólidos que provienen del sistema de abastecimiento de una población y que ha sido modificada debido a diversos usos en actividades como: domésticas, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, entre otros. Debido a la naturaleza de las aguas residuales al momento de su descarga, no pueden ser reutilizadas en los procesos que las generó, al ser vertidas en varios cuerpos receptores sin un tratamiento previo pueden implicar una alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos o incluso afectar a la salud humana”. (Arce A., 2001)

### **2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL**

“Cualquier sustancia puede ser un contaminante del agua desde el momento en que puede interferir con un uso específico de la misma”.

### **2.3.3. TIPOS DE CONTAMINANTES Y SUS FUENTES**

“El agua residual se caracteriza en términos de los agentes físicos, químicos y biológicos que contiene; resumida de la siguiente manera”: (Arce A., 2001)

- **Agentes físicos**
  - Sólidos Suspendidos
  - Calor
  - Radioactividad
- **Agentes químicos**
  - pH
  - Sustancias consumidoras de oxígeno disuelto
  - Sustancias tóxicas
  - Nutrientes
  - Grasas y aceites
- **Agentes microbiológicos**
  - Virus
  - Bacterias
  - Protozoarios
  - Helmintos

### **2.3.3.1. AGENTES FÍSICOS**

#### **✓ Sólidos suspendidos**

“La materia en suspensión está compuesta por diversos tipos de sólidos: flotantes, sedimentables y coloidales. Además, por su composición pueden ser inorgánicos u orgánicos, radioactivos o contribuir al aumento de una sustancia en solución por ejemplo un metal. Por definición, un sólido suspendido es aquel que puede retenerse en un filtro estándar de fibra de vidrio cuyo diámetro nominal sea 1,2  $\mu\text{m}$ . Los sólidos que pasen a través de dicho filtro representan la fracción filtrable que está compuesta por los sólidos coloidales y los sólidos disueltos”. (Arce A., 2001)

“El origen de los sólidos suspendidos es muy amplio y diverso, casi todos los usos del agua aportan sólidos suspendidos al agua residual, es decir, las fuentes de sólidos suspendidos pueden ser domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, además de ocurrir en forma natural. Los efectos de los sólidos suspendidos en los cuerpos receptores están asociados al tamaño y a la naturaleza del sólido, pero desde un punto de vista puramente físico, los más notables son el interferir con la penetración de la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua”.

#### **✓ Calor**

“El agua tiene una gran capacidad calorífica, es decir, requiere mucha mayor cantidad de energía calorífica para elevar 1  $^{\circ}\text{C}$  su temperatura, que la que

requieren otras sustancias. Por esta propiedad, es que el agua se utiliza para enfriamiento en muchos procesos industriales y de generación de energía. Una vez que el agua ha enfriado el proceso, y por lo mismo absorbido calor, y es desechada en un cuerpo receptor, le transfiere la energía calorífica a dicho cuerpo aumentando su temperatura”.

#### ✓ **Radioactividad**

“La radioactividad es la capacidad de ciertos elementos de transmutarse espontáneamente en otros elementos y propagar energía electromagnética y calorífica. El agua en forma natural puede contener niveles bajos de radioactividad, especialmente aguas subterráneas que estén en contacto con yacimientos de materiales radioactivos. Por otra parte, las actividades humanas como la producción de energía eléctrica, el uso de isótopos radioactivos en la medicina y en la industria pueden aportar elementos radioactivos al agua residual. Los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales pueden remover estos elementos y concentrarlos en los lodos de desecho, los cuales deben disponerse en confinamientos especiales”. (Arce A., 2001)

#### **2.3.3.2. AGENTES QUÍMICOS**

##### ✓ **Potencial de hidrógeno (pH)**

“El potencial de hidrógeno o pH como lo definió Sorensen es el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno en el agua”.



✓ **Sustancias consumidoras de oxígeno disuelto**

“La materia orgánica en el agua es susceptible de ser oxidada y transformada en compuestos más simples, como bióxido de carbono y agua, por acción de las bacterias. Si hay oxígeno molecular disuelto en el agua, las bacterias aerobias lo consumen para llevar a cabo dicha transformación. Es por ello que a la materia orgánica biodegradable se le clasifica en las sustancias consumidoras de oxígeno”.

“El nitrógeno amoniacal, también puede ser oxidado por acción de las bacterias aerobias y se transforma en nitritos y nitratos razón por la cual se clasifica como sustancias consumidoras de oxígeno”.

“Dada la dificultad de hacer un análisis estequiométrico de la materia orgánica que entra en el agua residual y aprovechando su propiedad de ser oxidable, se han desarrollado métodos analíticos indirectos que miden la cantidad de oxígeno requerida para la transformación y de esta forma se conoce la cantidad de materia orgánica presente. Los métodos de mayor uso son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO)”.

✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

“Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. Las condiciones en las que se lleva a cabo la prueba son

tales que favorecen el desarrollo de los microorganismos, pero inhibe los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno”.

#### ✓ **Demanda Química de Oxígeno**

“La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (Rodier, 2010). Es una oxidación en medio ácido, en presencia de un oxidante fuerte (dicromato de potasio y con aplicación de calor, en un equipo de reflujo. Bajo tales condiciones se oxida toda la materia oxidable presente en la muestra, incluso aquella que los microorganismos no son capaces de degradar. Por ello la DQO es mayor que la DBO”.

#### ✓ **Sustancias tóxicas**

“Una sustancia tóxica es aquella que al introducirse en un ser vivo le ocasiona la muerte o trastornos graves. El efecto puede ser inmediato o a largo plazo, esto estará dado por el nivel de toxicidad de la sustancia y por la facilidad con que sea desechada de los tejidos. Muchas de las sustancias tóxicas son bioacumulables, es decir, se absorben fácilmente en los tejidos grasos de los seres vivos y no pueden ser eliminadas. Hay sustancias tóxicas animales (biotoxinas), vegetales, minerales y sustancias antropógenas, es decir, generadas por el hombre”.

#### ✓ **Nutrientes**

“Todos los seres vivos requieren de nutrientes para poderse desarrollar, entre ellos destacan el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno se requiere para la síntesis celular, para formar nuevos tejidos, mientras que el fósforo se requiere a nivel celular para el transporte de energía”.

#### ✓ **Grasas y aceites**

“Son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal, vegetal e hidrocarburos del petróleo; son de baja o nula biodegradabilidad, poseen características especiales: baja densidad y poca solubilidad en agua. Por ello, tienden a separarse de la fase acuosa, ocupan la superficie del líquido que las contiene y forman natas”. (Arce A., 2001)

### **2.3.3.3. AGENTES MICROBIOLÓGICOS**

“Los microorganismos de interés en la contaminación del agua son los virus, las bacterias, los protozoarios y los huevos de helminto”.

### **2.3.4. TIPOS DE AGUA RESIDUAL**

“Las aguas residuales pueden provenir de diferentes lugares, es así que dependiendo de su origen pueden clasificarse como: Aguas Residuales Domésticas, Aguas Residuales Industriales y Aguas residuales agrícolas”. (Tipantaxi, 2010)

- ✓ **“Aguas residuales domésticas o aguas negras:** proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas”.
- ✓ **“Aguas residuales industriales:** proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales”.
- ✓ **“Aguas residuales agrícolas:** procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo”. (López, 2014)

### **2.3.5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

“El adecuado tratamiento de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria”. (Freire, 2012)

“El tratamiento de aguas residuales es una operación que utiliza diferentes procesos de depuración: físicos, químicos y microbiológicos, por medio de unidades de tratamientos convencionales o naturales, permitiendo de esta manera

que el agua que se desea tratar pueda eliminar la mayor parte de contaminantes presentes en la misma con la finalidad de que sus parámetros cumplan con los límites establecidos por las normas ambientales”. (Valencia, 2013)

“Hay diversos tipos, donde queda apta y posteriormente, sirve para la re-utilización, los cuales son tratamientos primarios, secundarios y terciarios”.

### **2.3.6. TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES**

“El tratamiento primario, es el proceso que se utiliza para la eliminación de los sólidos, en las aguas a tratar. En estos procesos se buscan principalmente, reducir sólidos en suspensión, como”:

**Sedimentables:** se sedimentan al pasar mucho tiempo en reposo.

**“Flotantes:** que son definidos por la contraposición de los sedimentables, sólidos coloidales que su tamaño no supera las 10 micras. Para el tratamiento de este tipo de residuos, existen varios tipos de procesos a considerar que hacen parte de la definición de los procesos primarios”. (Fyndecol, 2017)

#### **- Pre tratamiento o cribado**

“Consta principalmente de un proceso físico, para separar sólidos de diferente tamaño, por medio de una herramienta de tamizado. Generalmente se aplica una primera etapa en la que se eliminan sólidos de mayor tamaño y peso. Posteriormente, se eliminan sólidos grandes flotantes y luego partículas de tamaño fino por medio de rejillas que retienen sólidos de hasta más 10 mm. Luego se

procede a evacuar el material cribado a un contenedor donde se le aplica procesos de sedimentación”.

- **Sedimentación**

“Al finalizar los procesos de eliminación de sólidos en suspensión y de mayor tamaño, el agua pasa a un proceso de sedimentación donde se encuentran los materiales orgánicos que son retirados para su eliminación. Este proceso puede reducir entre el 20 a 40% la concentración de DBO y entre 40 a 60% de los sólidos restantes”.

- **Flotación**

“Este proceso tiene como funcionalidad retirar las grasas, aceites y sólidos de baja densidad que no han sido eliminados en las etapas anterior, para ello se aplica la entrada de aire al depósito que produce la ascensión de burbujas de aire que hace que los sólidos suban a la superficie, donde posteriormente son retirados; este proceso de flotación puede eliminar hasta un 75% de los sólidos en suspensión”.

- **Neutralización**

“Este proceso tiene como finalidad normalizar la calidad del pH contenido en las aguas a tratar, para su vertimiento en cuerpos de agua o posteriormente tratamientos secundarios de agentes químicos, biológicos o bioquímicos. Generalmente se usan procesos de alcalisis o adición de ácidos para lograr el objetivo de este proceso”.

## - **Otros procesos de depuración**

“En algunos casos, los procesos mencionados anteriormente no son suficientes para una depuración total de aguas residuales, por ello, algunas comunidades de ingenieros aplican nuevas etapas sencillas con el fin de aplicar una mejor depuración en las aguas a tratar, estos procesos pueden ser fosas sépticas, lagunaje y filtros verdes”. (Fyndecol, 2017)

### **2.3.7. TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES**

“Se conoce como tratamiento secundario de aguas residuales a aquellos que se fundamentan en la utilización de procesos biológicos que se encargan de degradar activamente la materia orgánica o contenido biológico (residuos humanos, residuos de alimentos, jabones, detergentes, etc.) que esté presente en el agua residual, para después convertirla en sólidos suspendidos, facilitando la eliminación del mismo por procesos primarios”.

“Es indispensable tener en cuenta que la finalidad de aplicar estos procesos secundarios en las aguas residuales es la eliminación de impurezas que contienen un tamaño mucho menor a los que se pueden captar o eliminar mediante un proceso de decantación normal o algún proceso primario mencionado anteriormente”.

Entre los procesos que se pueden aplicar estos tratamientos secundarios se encuentran:

- **Procesos aerobios**

“En este proceso hacemos uso de microorganismos aerobios, que tienen como objetivo incrementar en gran medida el contenido de oxígeno en las aguas, por medio de riegos de superficies sólidas, agitación y aireación sumergida. En éste, las sustancias biodegradables disueltas suministran alimento a los microorganismos transformándolos en biomasa de condiciones aerobias, dióxido de carbono y agua; fuera de las sustancias biodegradables empieza la eliminación de compuestos de nitrógenos del agua residual que se está tratando. Dentro de esta etapa, se hace uso de dos procesos conocidos como nitrificación y desnitrificación, en el primero mencionado, los microorganismos se encargan de convertir el amonio contenido en las aguas residuales en nitratos, en cambio, en el proceso de desnitrificación los microorganismos reducen el nitrato a nitrógeno natural, permitiendo que el producto natural se escape en estado gaseoso hacia la atmósfera”.

- **Procesos anaerobios**

“El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Clásicamente se considera que la fermentación anaerobia transcurre en tres etapas”:



- **“Etapa fermentativa:** La fase fermentativa es muy compleja, ya que incluye un gran número de reacciones hidrolíticas que desdoblan los polímeros orgánicos en los monómeros que los constituyen”.

- **“Etapa acetogénica:** Los compuestos intermedios formados en la etapa anterior son metabolizados hasta acetato por las bacterias acetogénicas, que son también productoras de hidrógeno”.

- **“Etapa metanogénica:** Las bacterias metanogénicas son las responsables de llevar a cabo la etapa final de la digestión anaerobia que es la formación de metano a partir de un número reducido de compuestos producidos en las etapas anteriores”. (Portales, 2011).

“Existen diversos tipos de bacterias utilizadas para la degradación anaerobia de la materia orgánica del agua, las cuales, son usadas en una secuencia ordenada caracterizada por productos y procesos metabólicos dependiendo de las características de cada tipo de bacteria. La reproducción de las bacterias anaerobias encargadas de la degradación anaerobia de la materia orgánica es realiza por fisión binaria, es decir, la célula original de la bacteria se divide en dos, generando dos nuevas células. Este proceso se repite y se hace funcional en la degradación hasta que la bacteria muera, obedeciendo las siguientes etapas”:

1. “Fase de adaptación: las bacterias se adecuan a un nuevo ambiente y se climatizan al mismo”.
2. “Fase de crecimiento: empieza la reproducción bacteriana, por medio de la fisión binaria”.

3. “Fase estacionaria: se agotan los nutrientes de los cuales las bacterias se alimentan y empieza la mortalidad de las mismas”.
4. “Fase de extinción: en esta fase la mortalidad de las bacterias se hace inminente y se supera la reproducción de nuevas células”.

- **Procesos de lodos activados**

“En el proceso de lodos activados, los microorganismos contenidos en las aguas residuales se encuentran suspendidos y reciben oxígeno por el efecto del proceso de aireación, lo que genera una agrupación en flóculos, a lo que llamamos lodo activo. Este, se separa por procesos de sedimentación del agua depurada y entra a un proceso inmediato de decantación secundaria. Mientras el proceso de decantación secundaria ocurre, el tanque de aireación sigue generando lodos activos, generando una pérdida de biomasa que será compensada devolviendo la pérdida al tanque de aireación, categorizándolos así, como lodos de retorno. Sin embargo, existen lodos que no circulan y quedan como residuo de los procesos de recirculación, a lo que se denomina lodos en exceso”. (Fyndecol, 2017)

### **2.3.8. TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES**

“Este tratamiento tiene como finalidad mejorar la calidad del agua a partir de procesos físicos y químicos que garantizan un óptimo mejoramiento en las aguas efluidas. Generalmente se usan para casos en los que se necesiten cumplir con unas características mínimas dictadas por la legislación colombiana y busca permitir los vertimientos de los mismos, sin causar algún impacto ambiental, o así mismo, ser reutilizados para alguna actividad agroindustrial o de interés”.

- **Desinfección y esterilización por Ultravioleta**

“Los procesos de desinfección de agua mediante luz ultravioleta son un proceso físico donde la radiación ultravioleta proporciona una inactivación de los microorganismos contenidos en el agua a tratar, una vez estas bacterias, virus y demás se exponen a radiación de longitudes de onda germicidas UV se vuelven incapaces de reproducirse y a su vez de infectar. Generalmente se considera que los tratamientos con radiación ultravioleta tienen la capacidad de eliminar hasta el 99.9 % de agentes patógenos, para llegar a este grado de efectividad del agua tratada deber ser eliminada cualquier grado de turbiedad, para que así, la luz ultravioleta pueda atravesar totalmente el flujo del agua a tratar”.

- **Ionización**

“La ionización es un proceso fisicoquímico que se encarga de purificar el agua mediante el empleo de intercambio iónico activado por energía eléctrica. Este proceso puede activarse mediante la utilización de energía solar o corriente eléctrica de bajo voltaje a través de electrodos adaptados en el circuito de filtración de agua, este provee una cantidad de iones de cobre y plata cargados positivamente, que se encargan de destruir e intercambiar iones cargados negativamente, neutralizando así, la acción de virus, bacterias y algas. El agua resultante de este proceso generalmente es inodora, transparente e insípida, ratificando la posibilidad de reutilización de aguas tratadas o asegurando un vertimiento que se acople a las condiciones establecidas por la normatividad colombiana”.

- **Filtración**

“Proceso que se usa generalmente para la remoción de los sólidos suspendidos restantes en el agua. Estos sólidos, no suelen generar algún tipo de impacto ambiental, sin embargo, pueden interferir con el uso que se le dará posteriormente al agua o en algún tratamiento corriente abajo, por ello se busca eliminar residuos o partículas, suciedad, entre otros, restantes en el agua”.

“Este tipo de tratamiento consta principalmente de filtros presurizados con Lecho filtrante de arena y grava que permite la filtración de esas partículas o sólidos remanentes en el agua”.

- **Cloración**

“Este proceso se efectúa con la desinfección del agua por medio de la aplicación de una dosis controlada de productos clorados, con la finalidad de eliminar microorganismos y compuestos de amonio y la oxidación de las sustancias inorgánicas como lo es el magnesio”. (Fyndecol, 2017)

### **2.3.9. TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES**

“El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años. Pero no por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar aguas industriales. A la hora de revisar los tratamientos unitarios más convencionales resulta fácil establecer una

clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico). La forma de intentar aunar ambas formas de clasificación puede ser considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta.” (Fernández, 2006)

### **2.3.9.1. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE MATERIA EN SUSPENSIÓN**

“La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas), hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica). También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente”.

“Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele no ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento. La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamientos químico-físicos”.

“A continuación se describen las operaciones unitarias más habituales. La utilización de una u otra es función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas”. (Fernández, 2006)

- **Desbaste**

“Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro”.

“El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica. En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones”.

- **Sedimentación**

“Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le

suele denominar también decantación. Realmente, este tipo de partículas (grandes y densas, como las arenas) se tienen en pocas ocasiones en aguas industriales. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación-floculación previa, que como se explicará más adelante, consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas”.

“La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.)”.

- “Sedimentadores rectangulares: La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas)”.

“Este tipo de sedimentación se denomina discreta, dado que las partículas no varían sus propiedades físicas a lo largo del desplazamiento hacia el fondo del sedimentador. Suelen ser equipos poco profundos, dado que, al menos teóricamente, este parámetro no influye en la eficacia de la separación, siendo el principal parámetro el área horizontal del mismo”.

- “**Sedimentadores circulares:** Son más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador. Esta forma de operar es adecuada cuando la sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las

que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas, y por lo tanto aumenta su velocidad de sedimentación”.

- **“Sedimentadores lamelares:** Han surgido como alternativa a los sedimentadores poco profundos, al conseguirse una mayor área de sedimentación en el mismo espacio. Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas (lamelas) o tubos inclinados respecto a la base, y por cuyo interior se hace fluir el agua de manera ascendente. En la superficie inferior se van acumulando las partículas, desplazándose de forma descendente y recogándose en el fondo del sedimentador”.

“Las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde se “empujan” hacia la salida. Estos fangos, en muchas ocasiones y en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final”.

- **Filtración**

“La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de



aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa”.

Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad o a presión, lenta o rápida, de torta o en profundidad.

- **“Filtración por gravedad:** El agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo, podemos hablar de dos formas de operar, que nos lleva a tener una filtración lenta, apenas utilizados actualmente, o una filtración rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial. Es un sistema muy utilizado en tratamiento para aguas potables”.
- **“Filtración por presión:** Normalmente están contenidos en recipientes y el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometido a presión. También en este caso puede haber filtración lenta, en la que en la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante donde la filtración, a través de esa superficie, es por mecanismos físicos y biológicos. Por otro lado, en la filtración rápida se habla de filtración en profundidad, es decir, cuando la mayor parte de espesor de medio filtrante está activo para el

proceso de filtración y la calidad del filtrado mejora con la profundidad. Esta filtración a presión se suele utilizar más en aguas industriales”.

“En la actualidad y en algunas de sus aplicaciones, estos métodos están siendo desplazados por operaciones con membranas, especialmente por micro-filtración, de las que se hablará en el capítulo correspondiente”.

#### - **Flotación**

“Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmisible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua. En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06. En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación”:

- **“Flotación por aire disuelto (DAF):** En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de micro-burbujas de aire”.
- **“Flotación por aire inducido:** La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior”.

“Históricamente la flotación se ha utilizado para separar la materia sólida o líquida flotante, es decir, con una menor densidad que el agua. Sin embargo la mejora en la generación de burbujas adecuadas y la utilización de reactivos para favorecer la operación (por ejemplo sustancias que disminuyen la tensión superficial) ha hecho posible la utilización de esta operación para la eliminación de materia más densa que el agua. Así se utiliza en el tratamiento de aguas procedentes de refinerías, industria de la alimentación, pinturas, etc. Una típica aplicación es también, aunque no sea estrictamente tratamiento de aguas, el espesado de fangos. En esta operación se trata de “espesar” o concentrar los fangos obtenidos en operaciones como la sedimentación”. (Fernández, 2006)

## - **Coagulación-Floculación**

“Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, en muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ( $10^{-6}$  –  $10^{-9}$  m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.)”

“Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa ( $Fe_3^+$ ,  $Al_3^+$ ) junto con poli-electrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación”:

- “Sales de  $Fe_3^+$ : Pueden ser  $Cl Fe$  o  $Fe (SO)$ , con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos”.

- “Sales de  $Al_3^+$ : Suele ser  $AlCl_3$  o poli-cloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado”.
- “Poli-electrolitos: Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor”.

**Tabla 1 Poder coagulante relativo de distintos reactivos.**

<b>Poder coagulante relativo de distintos reactivos</b>		
<b>Coagulante</b>	<b>Disoluciones positivas</b>	<b>Disoluciones negativas</b>
NaCl	1	1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30	1
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1000	1
MgSO <sub>4</sub>	30	30
AlCl <sub>3</sub>	1	1000
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	>1000
FeCl <sub>3</sub>	1	1000
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	>1000

**Fuente: Fernández A. (2006) Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales**

“Por otro lado, la electrocoagulación es otra forma de llevar a cabo el proceso, ampliamente utilizada en el caso de tratamiento de aguas industriales. Consiste en la formación de los reactivos in situ mediante la utilización de una célula electrolítica. El ánodo suele ser de aluminio, formándose cationes de  $Al_3^+$ ,

mientras en el cátodo se genera H<sub>2</sub>, siendo útil si la separación posterior de la materia es por flotación”.

“No hay reglas generales en cuanto a qué coagulante es más eficaz en cada caso. Normalmente, para un agua residual concreta, se hace un denominado “ensayo de jarras” (jar test) donde se analiza la eficacia de los distintos productos (o mezclas de los mismos) así como el pH y dosificación óptima”.

**Tabla 2 Características de algunos reactivos coagulantes**

<b>Características de algunos reactivos coagulantes</b>			
<b>Coagulante</b>	<b>Dosis (mg/l)</b>	<b>pH óptimo</b>	<b>Aplicaciones</b>
CaI	150 – 500	9 – 12	Eliminación de coloides (1)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	75 – 250	4,5 – 7	Eliminación de coloides (1)
FeCl <sub>3</sub>	35 – 150	4 – 7	Eliminación de coloides (2)
FeCl <sub>2</sub> FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	70 – 200	4 – 7	
Polímero catiónico	2 – 5	30	Eliminación de coloides (3)
Polímero aniónico y no iónico		0,25 – 1,0	Ayudante de floculación y sedimentación

**Fuente: Fernández A. (2006) Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales**

“Los equipos en los que se lleva a cabo este proceso, suelen constar de dos partes bien diferenciadas: Una primera donde se adicionan los reactivos, y se somete el agua a una fuerte agitación y durante un corto periodo de tiempo, con el objetivo de conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloide para llevar

a cabo la coagulación. A continuación se pasa a una zona donde la agitación es mucho menos intensa y donde el agua permanece más tiempo. En este caso el objetivo es que se produzca la floculación. De esta forma la materia en suspensión tiene unas características mucho más adecuadas para su eliminación mecánica”.

### **2.3.9.2. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE MATERIA DISUELTA**

“Al igual que en el caso de la materia en suspensión, la materia disuelta puede tener características y concentraciones muy diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras) orgánicas (materia orgánica biodegradable en industria de alimentación) hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas) pero necesaria su eliminación dado su carácter peligroso. Algunos de estos tratamientos están siendo desplazados por otros más avanzados y emergentes, como son los procesos de oxidación avanzada y las operaciones con membrana, y especialmente en el caso de las aguas industriales”. (Fernández, 2006)

#### **- Precipitación**

“Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión. Algunos autores incluyen en este apartado la coagulación-floculación. Sin embargo, el término precipitación se utiliza más para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la

transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble. Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el  $\text{Ca}^{2+}$ , dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas y muchas industriales de características parecidas”.

#### - **Procesos Electroquímicos**

“Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada. Las consecuencias de las reacciones que se producen pueden ser indirectas, como en el caso de la electrocoagulación, electro-flotación o electro-floculación, donde los productos formados por electrolisis sustituyen a los reactivos químicos, y supone una alternativa con futuro a la clásica adición de reactivos”.



Sin embargo, la aplicación que está tomando un auge importante es en el tratamiento de aguas residuales industriales, a través de una oxidación o reducción directa.

- **“Oxidación en ánodo:** En el ánodo se puede producir la oxidación de los compuestos a eliminar, tanto orgánicos como inorgánicos. Esta oxidación se puede producir directamente por una transferencia de electrones en la superficie del ánodo o bien por la generación de un agente oxidante in-situ. En este último caso se evita manipular agentes oxidantes. Entre las aplicaciones de la oxidación directa cabe destacar el tratamiento de cianuros, colorantes, compuestos orgánicos tóxicos (en algunas ocasiones haciéndolos más biodegradables), incluso la oxidación de Cr (III) a Cr (VI), más tóxico pero que de esta forma puede ser reutilizado. En rango de concentraciones con posibilidades de utilizar este tipo de tratamiento también es muy amplio”.
- **“Reducción en cátodo:** La principal aplicación de esta posibilidad es la reducción de metales tóxicos. Se ha utilizado en situaciones, no poco frecuentes, de reducción de metales catiónicos desde varios miles de ppm's de concentración hasta valores incluso por debajo de la ppm. Hay una primera etapa de deposición del metal sobre la superficie del cátodo que ha de continuarse con la remoción del mismo. Esto se puede hacer por raspado, disolución en otra fase, etc.”.

“El reactor electroquímico utilizado suele ser de tipo filtro-prensa, semejante a las pilas de combustible. Este sistema permite un crecimiento

modular del área. Básicamente cada módulo se compone de un elemento catódico de bajo sobre-voltaje a hidrógeno (Pt, Au, Acero Inoxidable, Ni,..) y un elemento anódico que utiliza como base óxidos de metales nobles”.

- **Intercambio Iónico**

“Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante. La aplicación habitual de estos sistemas, es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar”.

Las propiedades que rigen el proceso de intercambio iónico y que a la vez determinan sus características principales son las siguientes:

- Las resinas actúan selectivamente, de forma que pueden preferir un ión sobre otro con valores relativos de afinidad de 15 o más.
- La reacción de intercambio iónico es reversible, es decir, puede avanzar en los dos sentidos.
- En la reacción se mantiene el electro-neutralidad.

“Hay sustancias naturales (zeolitas) que tienen capacidad de intercambio, pero en las industrias se utilizan resinas poliméricas de fabricación sintética con muy claras ventajas de uso”.

**Tabla 3 Propiedades de típicas resinas ácidas**

<b>Propiedades de típicas resinas ácidas</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Estructura de gel</b>	<b>Estructura macroporosa</b>
Diámetro de película	Mm	0,3 – 1,2	0,3 – 1,2
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	850	833
Tolerancia a sólidos (turbidez)	NTU	5	5
Velocidad del lavado	m <sup>3</sup> /h1m <sup>2</sup>	12,2	14,7
Tiempo de lavado	Min	20	20
Velocidad de operación	m <sup>3</sup> /h1m <sup>2</sup>	16 – 50	16 – 50
Velocidad de regeneración	m <sup>3</sup> /h1m <sup>2</sup>	4	4
Capacidad Total	Keq/m <sup>3</sup>	1,5	1,8

**Fuente: Fernández A. (2006) Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales**

Entre las ventajas del proceso iónico en el tratamiento de aguas cabe destacar:

- Son equipos muy versátiles siempre que se trabaje con relativas bajas concentraciones de sales.
- Actualmente las resinas tienen altas capacidades de tratamiento, resultando compactas y económicas
- Las resinas son muy estables químicamente, de larga duración y fácil regeneración

- Existe cierta facilidad de automatización y adaptación a situaciones específicas

- **Adsorción**

“El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico”.

Factores que afectan a la adsorción

- Solubilidad: Menor solubilidad, mejor adsorción.
- Estructura molecular: Más ramificada, mejor adsorción.
- Peso molecular: Grandes moléculas, mejor adsorción.
- Problemas de difusión interna, pueden alterar la norma.
- Polaridad: Menor polaridad, mejor adsorción.
- Grado de saturación: Insaturados, mejor adsorción.

“El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo”.

Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizadas en diferentes aplicaciones:

- **“Carbón activado granular (GAC).-** Se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior. El tamaño de partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos, que a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua”.
- **“Carbón activo en polvo (CAP).-** Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo”.

“La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción. El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno. Las propiedades del carbón activo se deterioran, por lo que es necesario reponer parte del mismo por carbón virgen en cada ciclo. Por otro lado el CAP es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir”.

“El coste es un parámetro importante a la hora de la elección del adsorbente. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo coste, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos. Recientemente se están desarrollando derivados de polisacáridos (biopolímeros derivados del almidón)”.

“Las aplicaciones de la operación de adsorción es amplia, desde un amplio abanico de sustancias orgánicas (colorantes, fenol, mercaptanos, etc.) hasta metales pesados en todos sus estados de oxidación”.

#### - **Desinfección**

“La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos y algunos otros. La desinfección se hace imprescindible para la protección de la salud pública, si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua”.

“Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos: Tratamiento físico (calor, radiación..), ácidos o bases, etc... pero fundamentalmente se utilizan agentes oxidantes, entre los que cabe destacar el clásico Cl<sub>2</sub> y algunos de sus derivados, o bien procesos de oxidación avanzada

(O<sub>3</sub>, fotocatalisis heterogénea), estos últimos estudiados en el capítulo correspondiente. La utilización de desinfectantes persigue tres finalidades: producir agua libre de patógenos u organismos vivos, evitar la producción de subproductos indeseables de la desinfección y mantener la calidad bacteriológica en la red conducción posterior. Los reactivos más utilizados son los siguientes”:

- **“Desinfección con cloro (Cl<sub>2</sub>):** Es el oxidante más ampliamente utilizado. Hay una serie de factores que influyen en el proceso: Naturaleza y concentración de organismos a destruir, sustancias disueltas o en suspensión en el agua así como la concentración de cloro y el tiempo de contacto utilizado. Las sustancias presentes en el agua influyen en gran medida en la cloración: En presencia de sustancias orgánicas, el poder desinfectante es menor. La presencia de amonio consume cloro (formación de cloraminas). El hierro y manganeso aumentan la demanda del mismo”.

En este sentido, es importante realizar un estudio de la demanda del cloro (breakpoint) para determinar la dosis de cloro correcta para cada tipo de agua.

“Además de la dosis, es también importante el tiempo de contacto, de manera que el parámetro a utilizar es la expresión C·t: Concentración de desinfectante final en mg/l (C) y tiempo de exposición mínimo en minutos (t). Normalmente la expresión utilizada es  $C_n \cdot t = \text{constante}$ , que para el cloro adopta valores entre 0.5 y 1.5. Sin embargo, uno de las principales desventajas de la utilización del cloro como desinfectante es la posibilidad de formación, aunque en cantidades muy reducidas, de compuestos como los trihalometanos”.

- **“Otros compuestos clorados:** El hipoclorito sódico, fabricado a partir del Cl<sub>2</sub> es también utilizado como desinfectante en sistemas con menores caudales de trabajo, aunque las propiedades son muy semejantes a las del Cl<sub>2</sub>. Otro compuesto con posibilidades de utilización es el ClO<sub>2</sub>, más oxidante que el cloro, no reacciona con amonio, por tanto no forma cloraminas y parece ser que la posibilidad de formación de trihalometano es mucho menor que con Cl<sub>2</sub>. Todas estas ventajas están abriendo nuevas posibilidades a la utilización de este compuesto para la desinfección”. (Fernández, 2006)

- **Tratamientos biológicos**

“Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales”.

“En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los



elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente”.

“En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. Atendiendo a cual es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos”:

- **“Sistemas aerobios:** La presencia de O<sub>2</sub> hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua”.
- **“Sistemas anaerobios:** En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO<sub>2</sub> o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono en su estado más reducido, CH<sub>4</sub>. La utilización de este sistema, tendría, como ya se explicará, como ventaja importante, la obtención de un gas combustible”.
- **“Sistemas anóxicos:** Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de O<sub>2</sub> y la presencia de NO<sub>3</sub> hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en N<sub>2</sub>, elemento

completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación)”.

“Teniendo en cuenta todos estos aspectos, existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar”.

- **Procesos biológicos aerobios**

Son muchas las posibilidades de tratamiento:

- **“Cultivos en suspensión:** Proceso de fangos activados (lodos activados), y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada, contacto-estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR)”.
- **“Cultivos fijos:** Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos)”.
- **Fangos activados:** Proceso básico

“Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, en los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza un recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la

cantidad crecida de organismos. (Ver Anexo 1). Dentro de los parámetros básicos de funcionamiento, un parámetro muy importante es el de la aireación. La solubilidad del oxígeno en el agua es pequeña (en torno a 8-9 mgO<sub>2</sub>/l dependiendo de presión y temperatura) por lo que será necesario asegurar el suministro a los microorganismos, utilizando aireadores superficiales, capaces de suministrar 1 kgO<sub>2</sub>/kW·h, o bien difusores”.

“El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de oxígeno disuelto es de 2 mg/l. El consumo eléctrico en esta operación será importante dentro de los costes de operación del proceso. Otro parámetro clave en el proceso se refiere al parámetro A/M, algunas veces denominada I, intensidad de carga. Se refiere a la relación entre la carga orgánica alimentada y la cantidad de microorganismos disponibles en el sistema, con unidades kgDBO<sub>5</sub> (o DQO) / kgSSV·día”.

“Es un parámetro de diseño fundamental, teniendo un valor óptimo entre 0.3-0.6 para las condiciones más convencionales de funcionamiento. Además tiene una influencia determinante en la buena sedimentación posterior. La denominada “edad celular” también es un parámetro importante. Se refiere al tiempo medio que permanecen los fangos (flóculos, microorganismos) en el interior del sistema. Esta magnitud suele tener un valor de 5-8 días en condiciones convencionales de operación”. (Freire, 2012)

- **Procesos aerobios con biomasa soportada**

“Otra de las formas para conseguir concentraciones suficientes de microorganismos, sin necesidad de recirculación, es favoreciendo su crecimiento en la superficie de sólidos”.

“Se evitan de esta forma los posibles problemas en la sedimentación y recirculación de fangos, frecuente en los procesos clásicos de fangos activados. Sin embargo el aporte de oxígeno será de nuevo un factor importante, consiguiéndose en este caso bien en la distribución del líquido, bien por movimiento del sistema”.

- **“Filtros percoladores:** También denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie. Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente”. (Ver Anexo 2)

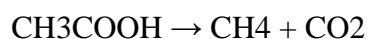
“En general también se realiza una recirculación de parte del efluente limpio, una vez producida la separación. En estos sistemas, la velocidad de carga

orgánica es el parámetro más avanzado de aguas residuales industriales importante, teniendo rangos de aplicación en la industria desde 30 a 10.000 kgDBO5/día y 100m<sup>3</sup> de reactor, siendo los tamaños muy variables (desde 2 hasta 10 m de altura)". (Freire, 2012)

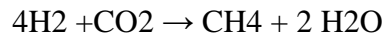
#### - **Procesos biológicos anaerobios**

“El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60- 0%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos. Realmente, es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso, que se describen a continuación, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio”. (Fernández, 2006)

- **“Hidrólisis:** La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente”.
- **“Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis):** Los productos finales de la hidrólisis son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta, otros compuestos de bajo peso molecular, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, aunque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae”.
- **“Metanogénesis:** La formación de metano, siendo este el último producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: La primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denominan bacterias acetoclastas. La reacción, planteada de forma general, es la siguiente”:



“Algunas bacterias metanogénicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metanogénicas hidrogenoclastas) según la reacción”:



“La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas”.

“Entre las ventajas más significativas del tratamiento anaerobio frente al aerobio cabe destacar la alta eficacia de los sistemas, incluso en aguas residuales de alta carga, el bajo consumo de energía, pequeña producción de fangos y por tanto, pequeño requerimiento de nutrientes, así como su eficacia ante alteraciones importantes de carga y posibilidad de grandes periodos de parada sin alteración importante en la población bacteriana. Sin embargo, como desventajas caben destacar la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los generalmente largos periodos de puesta en marcha”.

- **Condiciones de operación**

“Tanto las variables físicas como las químicas influyen en el hábitat de los microorganismos. En los procesos anaerobios es importante tener en cuenta la influencia de factores medioambientales. Las bacterias formadoras de metano son las más sensibles a estos factores, por lo que un funcionamiento inadecuado de las mismas puede causar una acumulación de productos intermedios (ácidos) y

desestabilizar por completo el sistema. Entre las variables más importantes se encuentran la temperatura, el pH y la disponibilidad de nutrientes”.

“Por otro lado, la mezcla es un factor importante en el control del pH y en la uniformidad de las condiciones medioambientales. Una buena mezcla distribuye la”:

Materia orgánica compleja

- **Hidrólisis**

“Los parámetros de seguimiento y control de un digestor anaerobio pueden situarse en la fase sólida (materiales orgánicos e inorgánicos en suspensión); fase líquida (parámetros fisicoquímicos y composición) y gaseosa (producción y composición) Estos parámetros pueden tener diferente significado y utilidad según la situación particular del equipo, que puede encontrarse en un período de puesta en marcha, en estado estacionario para sistemas continuos, o en sistemas discontinuos. Entre los parámetros de operación se pueden mencionar velocidad de carga orgánica, toxicidad, velocidad volumétrica de flujo, tiempo de retención hidráulico, concentración de sólidos volátiles en el reactor, producción de fangos, etc.”.

- **Reactores utilizados**

“El desarrollo del tratamiento anaerobio ha sido paralelo al desarrollo del tipo de reactor donde llevar a cabo el proceso. Dado el bajo crecimiento de las bacterias metanogénicas y la lentitud con la que llevan a cabo la formación de



metano, es necesario desarrollar diseños en los que se consiga una alta concentración de microorganismos (SSV) en su interior si se quiere evitar el utilizar reactores de gran tamaño. Para conseguirlo, habitualmente es necesario que el tiempo de retención hidráulico (TRH) sea inferior al tiempo de retención de sólidos (TRS) y esto se puede hacer por distintos medios. A todos estos reactores se les denomina de alta carga, dado que son los únicos que pueden tratar aguas con elevada carga orgánica de una forma viable. Dando un repaso a los más utilizados, podemos hablar de”:

- **Reactor de contacto (mezcla completa con recirculación de biomasa):**

“Se trata del equivalente al proceso de fangos activados aerobio. Consiste un tanque cerrado con un agitador donde tiene una entrada para el agua residual a tratar y dos salidas, una para el biogás generado y otra para la salida del efluente. Este efluente se lleva a un decantador donde es recirculada la biomasa de la parte inferior del decantador al reactor, para evitar la pérdida de la misma. Los principales problemas que presentan radican en la necesidad de recircular los lodos del decantador y de una buena sedimentación de los mismos. (Ver Anexo 3)”.

- **Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket):**

“Estos reactores solucionan el problema de recirculación de lodos al aumentar la concentración de biomasa en el reactor manteniéndola en su interior.

Estos reactores fueron desarrollados en Holanda, por el Prof. Lettinga en la década de los 80. Se trata de un reactor cuyo lecho está formado por gránulos de biomasa”. (Freire, 2012)

“Estos gránulos son porosos y con una densidad poco mayor que la del líquido, con lo que se consigue un buen contacto de éste con la biomasa. Los reactores suelen tener en su parte superior un sistema de separación gas-sólido-líquido, puesto que se acumula biogás alrededor de las partículas, éstas manifiestan una tendencia a ascender separándose con estos dispositivos. Se consigue una alta concentración de biomasa dentro del reactor que conlleva una elevada velocidad de eliminación de materia orgánica con rendimientos elevados de depuración. El agua residual se introduce por la parte inferior, homogéneamente repartida y ascendiendo lentamente a través del manto de lodos (gránulos). Los principales problemas que tiene este tipo de reactor son: puesta en marcha, ya que se ha de conseguir que se desarrollen gránulos lo más estables posibles, la incidencia negativa que tiene el que el agua residual a tratar contenga una gran cantidad de sólidos en suspensión y la deficiente mezcla en la fase líquida que se logra. Este último problema se soluciona de una forma eficaz recirculando parte del gas producido e inyectándolo en la parte inferior de equipo, consiguiendo una expansión del manto de lodos, y por lo tanto, una buena mezcla. A estos reactores se les denomina EGSB (Expanded granular sludge blanket). Habitualmente la relación altura/diámetro es mayor que para los convencionales UASB siendo capaces de alcanzar mayores cargas orgánicas (10-25 kg DQO/m<sup>3</sup>·día). También recientemente se ha desarrollado un sistema semejante

denominado Internal Circulation (IC). Estos tipos de reactores han conseguido una muy alta implantación en el mercado, mostrándose como los más fiables para todo tipo de aguas residuales de alta carga, especialmente las que tiene un bajo contenido de sólidos en suspensión”.

- **Filtro anaerobio (FA):**

“En este caso, los microorganismos anaerobios se desarrollan sobre la superficie de un sólido formando una biopelícula de espesor variable. El sólido permanece inmóvil en el interior del equipo, habitualmente una columna, constituyendo un lecho fijo. El agua residual se hace circular a través del lecho, bien con flujo ascendente o bien descendente, donde entra en contacto con la biopelícula. Son sistemas tradicionalmente utilizados en muchas depuradoras de aguas residuales industriales con alta carga orgánica. Resisten muy bien alteraciones de carga en el influente pero no aceptan gran cantidad de sólidos en suspensión con el influente. El rango típico de cargas tratadas desde 5-15 KgDQO/m<sup>3</sup>·día”.

- **Reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF):**

“Son columnas en cuyo interior se introducen partículas de un sólido poroso (arena, piedra pómez, biolita, etc.) y de un tamaño variable (1-5 mm) con el objetivo de que sobre su superficie se desarrolle una biopelícula bacteriana que lleve a cabo la degradación anaerobia. Para que las partículas permanezcan fluidizadas (en suspensión), es necesario realizar una recirculación del líquido, para que la velocidad del mismo en el interior de la columna sea suficiente como

para mantener dichas partículas expandidas o fluidizadas. Este tipo de equipos se han comprobado como muy eficaces, al menos en escala laboratorio o planta piloto. Se consiguen muy altas concentraciones de microorganismos, así como una muy buena mezcla en el lecho. Sin embargo su implantación a nivel industrial no ha alcanzado las expectativas que se crearon”.

- **Otros tipos de reactores:**

“Más que otros tipos de reactores, nos referimos a distintas formas de operar, de llevar a cabo la degradación anaerobia. Tenemos por una parte los reactores discontinuos secuenciales (SBR, sequencing batch reactors), equipo en el que de forma secuencial se lleva a cabo el llenado, reacción, sedimentación y evacuación del agua depurada, para volver otra vez a iniciar el ciclo, todo ello en un mismo equipo. Como ventaja fundamental tiene el menor requerimiento espacio, así como una mayor flexibilidad en la forma de operar, por ejemplo en el caso de flujos estacionales, ayudado por la gran capacidad de las bacterias para estas situaciones. Por otro lado, especialmente para el caso en el que la materia orgánica a degradar sea compleja, y en el que la etapa de hidrólisis sea importante, se suele llevar a cabo la degradación en dos etapas, en dos reactores en serie. En el primero se ponen las condiciones necesarias para que se realice la hidrólisis y acidificación de forma óptima (por ejemplo a pH=6), sin formación de metano. El efluente de este reactor, constituido fundamentalmente por ácidos de cadena corta, pasa al reactor metanogénico, donde las bacterias metanogénicas, mayoritarias, llevarán a cabo la metanización final del residuo. Estos equipos se han puesto en

práctica desde hace tiempo, con éxito, incluso para la metanización de la fracción orgánica de los RSU, a menudo mezclados con lodos de depuradoras”.

“El tratamiento anaerobio, por tanto, constituye una forma eficaz de tratar aguas y residuos de alta carga orgánica, siendo una tecnología madura y contribuyendo no solo a la eliminación de la materia orgánica, sino a su aprovechamiento energético derivado de la utilización del metano producido”.

“Dependiendo del tipo de agua residual y de otros factores relacionados con cada aplicación particular, una tecnología anaerobia puede ser más apropiada y eficaz que otra”. (Fernández, 2006)

### **2.3.9.3. PROCESOS BIOLÓGICOS DE ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES**

Otra de las aplicaciones de los tratamientos biológicos es la eliminación de nutrientes, es decir, de compuestos que contienen tanto nitrógeno como fósforo.

#### **✓ Tratamiento biológico de compuestos con nitrógeno**

“Los compuestos con nitrógeno sufren una serie de transformaciones como consecuencia de la acción de distintos organismos. En primer lugar, una serie de bacterias autótrofas (Nitrosomonas y Nitrobacter) son capaces de llevar a cabo una nitrificación, con demanda de oxígeno. A continuación, otra serie de bacterias desnitrificantes llevan a cabo la eliminación de  $\text{NO}_3^-$ , en un sistema anóxico, donde el propio nitrato actúa de aceptor de electrones, siendo en este caso bacterias heterótrofas, es decir su fuente de carbono es materia orgánica. Este proceso en su conjunto es conocido como nitrificación-desnitrificación”.

“De esta forma y en dos reactores consecutivos se puede llevar a cabo la eliminación de compuestos con nitrógeno: primero en un reactor aerobio seguido de otro con condiciones anóxicas, pero en el que será necesario adicionar fuente de carbono para el desarrollo de las bacterias desnitrificantes. El sistema en su conjunto suele ser semejante al proceso de fangos activados, pero utilizando los reactores en las condiciones comentadas”.

“Sin embargo, es muy común la presencia de materia orgánica con materia nitrogenada en aguas residuales, no solo en aguas residuales urbanas, y la tendencia es la eliminación conjunta de ambos contaminantes. En este caso no se puede seguir la secuencia mencionada: En el primer reactor de nitrificación la materia orgánica inactivaría las bacterias nitrificantes, y en el segundo se necesitaría materia orgánica. Para evitar estos problemas, es necesario iniciar el proceso con un reactor anóxico, donde la materia orgánica del agua residual actúa como fuente de carbono, pero sería necesario recircular parte del efluente del segundo reactor de nitrificación: en este reactor se producirán nitratos, y sería un reactor aerobio. El proceso es semejante al de fangos activados, pero para que se alcance la nitrificación y desnitrificación es necesario trabajar con relaciones A/M por debajo de 0.15 días<sup>-1</sup>, como ocurre en procesos de aireación prolongada. Otra forma de llevar a cabo la eliminación conjunta de compuestos con nitrógeno y materia orgánica utilizando un único reactor es en los denominados “canales de oxidación”, en los que tanto el punto de alimentación del agua residual como el de aireación han de tener unas posiciones estratégicas”.

#### **2.3.9.4. MEMBRANAS**

“Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado”.

“La rápida expansión, a partir de 1960, de la utilización de membranas en procesos de separación a escala industrial ha sido propiciada por dos hechos: la fabricación de membranas con capacidad para proporcionar elevados flujos de permeado y la fabricación de dispositivos compactos, baratos y fácilmente intercambiables donde disponer grandes superficies de membrana”. (Fernández, 2006)

##### **✓ Características de los procesos de separación con membranas**

- Permiten la separación de contaminantes que se encuentran disueltos o dispersos en forma coloidal.
- Eliminan contaminantes que se encuentran a baja concentración.
- Las operaciones se llevan a cabo a temperatura ambiente
- Procesos sencillos y diseños compactos que ocupan poco espacio.
- Pueden combinarse con otros tratamientos.
- No eliminan realmente el contaminante, únicamente lo concentran en otra fase.

“Pueden darse el caso de incompatibilidades entre el contaminante y la membrana Problemas de ensuciamiento de la membrana: Necesidad de otras

sustancias para llevar a cabo la limpieza, ajustes de pH, ciclos de parada para limpieza del equipo”.

Deficiente escalado: doble flujo-doble de equipos (equipos modulares).

Ruido generado por los equipos necesarios para conseguir altas presiones

✓ **Tipos de membranas**

“Las membranas se pueden fabricar con materiales poliméricos, cerámicos o metálicos”.

Atendiendo a su estructura física se pueden clasificar en:

✓ **Membranas microporosas**

“Estructuras porosas con una estrecha distribución de tamaño de poros. Las membranas que se encuadran en este grupo tienen una de distribución de diámetros de poro de 0.001mm – 10mm”.

“Los procesos de depuración de aguas que utilizan estas membranas, microfiltración y ultrafiltración, se basan en impedir por exclusión el paso a través de la membrana de aquellos contaminantes de mayor tamaño que el mayor diámetro de poro de la membrana, siendo parcialmente rechazadas aquellas sustancias cuyo tamaño está comprendido entre el mayor y el menor de los diámetros del poro. En este tipo de membranas la fuerza impulsora responsable del flujo de permeado a través de la membrana es una diferencia de presión”.



“Los filtros profundos actúan reteniendo en su interior, bien por adsorción en las paredes de los poros o por su captura en los estrechamientos de los canales de los poros, las sustancias contaminantes que se quieren excluir del agua. Son membranas isotrópicas y habitualmente se utilizan en microfiltración”.

“Los filtros tipo tamiz son membranas con una estrecha distribución de tamaños de poros. Capturan y acumulan en su superficie las sustancias contaminantes de mayor tamaño que los poros. Las sustancias de menor tamaño que pasan la membrana no son retenidas en su interior, sino que salen formando parte del permeado. Suelen ser membranas anisótropas y se utilizan en ultrafiltración”.

#### ✓ **Membranas densas**

“Estructuras sin poros donde el paso de las sustancias a través de la membrana sigue un modelo de solución-difusión, en el que los componentes de la solución se disuelven en la membrana y posteriormente se difunden a través de ella. La diferente solubilidad y difusividad de los componentes de la solución en la membrana permiten la separación de sustancia del tamaño de moléculas e iones. Debido a las fuertes presiones a las que tienen lugar estos procesos las membranas son de tipo anisótropo. La ósmosis inversa y la nanofiltración son procesos que utilizan este tipo de membranas”.

#### ✓ **Membranas cargadas eléctricamente**

“Pueden ser porosas o densas, con restos aniónicos o catiónicos fijos en la estructura de la membrana. La separación es consecuencia de la carga de la

membrana, siendo excluidos aquellos componentes cuya carga sea la misma que la de la membrana. La separación también depende de la carga y concentración de los iones de la solución: los iones monovalentes son excluidos menos eficazmente que los divalentes, así mismo, el proceso de separación es menos efectivo en soluciones de elevada fuerza iónica. Estas membranas se utilizan en los procesos de electrodiálisis”.

#### ✓ **Membranas anisótropas**

“Las membranas anisótropas son estructuras laminares o tubulares donde el tamaño de poro, la porosidad o la composición de la membrana cambia a lo largo de su espesor”.

“Están constituidas por una delgada película (densa o con poros muy finos) soportada en otra más gruesa y porosa, de tal forma que la primera es la responsable del proceso de separación y la segunda aporta al sistema la suficiente resistencia mecánica para soportar las condiciones de trabajo. La película responsable del proceso de separación y la que aporta la resistencia mecánica pueden estar fabricadas con el mismo material (membranas de Loeb-Sourirajan) o con materiales diferentes (membranas de tipo composite). Debido a que la velocidad de paso de las sustancias a través de la membrana es inversamente proporcional a su espesor, las membranas deberán ser tan delgadas como sea posible. Mediante la fabricación de membranas anisótropas (asimétricas) es posible conseguir espesores de membranas inferiores a 20 mm, que son los espesores de las membranas convencionales (isótropas o simétricas). La mejora en

los procesos de separación, debido a este tipo de membranas, ha hecho que sean las de elección en los procesos a escala industrial”. (Fernández, 2006)

### **2.3.10. REUTILIZACIÓN DE AGUAS INDUSTRIALES**

“De acuerdo con las definiciones de T.Asano (1996), llamamos recuperación de las aguas residuales al tratamiento o proceso que sufren las aguas residuales para poder ser reutilizadas, y reutilización directa del agua al aprovechamiento de las aguas residuales tratadas con fines beneficiosos. La reutilización directa de las aguas residuales requiere la existencia de tuberías u otros medios de conducción para la distribución del agua recuperada. La reutilización indirecta, a través del vertido de afluentes residuales en un agua receptora, para su asimilación y retirada aguas abajo, aun siendo importante no constituye un sistema de reutilización directa y planificada de las aguas. Al contrario de lo que ocurre con la reutilización directa del agua, el reciclado del agua normalmente supone un sólo uso o usuario y sus efluentes se recogen y son devueltos para el mismo plan de utilización. La reutilización del agua requiere un estudio profundo de planificación de la infraestructura y de los recursos, el emplazamiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales, la fiabilidad del tratamiento, el análisis económico y financiero, y una gestión del uso del agua que suponga la integración del agua recuperada con otras fuentes disponibles de agua no recuperada. Hoy día, existen tratamientos técnicamente probados o procesos de purificación capaces de recuperar agua residual de casi cualquier calidad que se desee. Así, la reutilización de las aguas residuales tiene su propio lugar y desempeña un papel importante a la hora de hacer una óptima planificación y una

gestión y un uso más eficientes de los recursos hídricos en muchas áreas del mundo. Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas dependiendo del nivel de tratamiento a que se sometan, lo que determinará la calidad del efluente conseguido, destacando como destino más frecuente, en la mayoría de los proyectos, el riego agrícola”. (Pérez, 2003)

✓ **Reutilización de agua tratada por lagunas de oxidación**

“El afluente de agua tratada por medio de lagunas de oxidación esta sin duda enriquecido con un alto contenido de nutrientes además de una carga microbiana que no la hace apta para el consumo humano, es decir que el tratamiento elimina gran cantidad de microorganismos nocivos; pero no purifica el agua en su totalidad, aún debe pasar por un proceso de potabilización con parámetros más estrictos para que sea consumible y utilizada por los seres humanos. A pesar de esto, el agua puede ser descargada en ríos o en el mar sin causar contaminación, siempre y cuando el proceso de depuración se lleve a cabo eficientemente, y de la misma manera puede ser usada con otros fines, como la agricultura, acuicultura y silvicultura, tomando todas las precauciones necesarias para evitar afectar la salud humana”. (Morales, 2009)

✓ **Reutilización de agua de lagunas de oxidación en riego de especies forestales**

“Utilizar este tipo de agua en especies forestales es lo ideal; ya que no son especies de consumo directo por el ser humano, es decir que el producto forestal o frutal no estará en contacto con el agua de riego y por ende, no corre peligro de

contaminación por bacterias patógenas para la salud. Sin embargo, este tipo de agua es más usada en agricultura que en silvicultura. Los proyectos forestales desarrollados a partir de lagunas de oxidación son realmente pocos, limitándose muchas veces al riego de la franja de amortiguamiento forestal de las lagunas, dejando a un lado otras oportunidades como la aplicación en viveros forestales, que es una muy buena alternativa de bajo costo que requiere poco espacio sin la necesidad de hacer grandes sistemas de riego que recorran largas distancias”. (Morales, 2009)

#### **2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

El proyecto de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se realiza en base a las directrices establecidas en las siguientes Leyes, Reglamentos y Ordenanzas Municipales en materia Ambiental, los cuales son aplicables a nivel nacional y de carácter obligatorio para proteger la calidad del recurso agua.

**El Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, atribuye lo siguiente:**

##### **NORMAS GENERALES DE DESCARGA DE EFLUENTES**

Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.

Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.

Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.

Descarga a un cuerpo de agua dulce.

Descarga a un cuerpo de agua marina.

Permisos de descarga.

Parámetros de monitoreo de las descargas industriales de importancia

Criterios generales para la descarga de efluentes

Principios básicos para descarga de efluentes

Dentro del límite de su actuación, serán los municipios con la aprobación de la Autoridad Nacional de Control Ambiental, los responsables por definir y proponer las limitaciones de descarga a los cuerpos receptores, como resultado de la modelación de calidad del cuerpo receptor, para cumplir con objetivos de calidad para defensa de los usos asignados y los tratamientos individuales o conjuntos, según principios que se indican en esta norma. Estas limitaciones serán validadas por el MAE y estarán consignadas en los permisos de descarga.

Para obtener los permisos de descarga y vertidos los sujetos de control deberán realizar entre otros estudios, modelos matemáticos de la carga contaminante en relación a la capacidad de carga del cuerpo de agua receptor, los cuales serán requeridos por la autoridad ambiental mediante la norma técnica específica.

Dentro y fuera de los límites de actuación municipal, las EPS o industrias que descarguen a cuerpos receptores, definirán las limitaciones del volumen de descarga mediante balances de masa de los parámetros contaminantes seleccionados en los puntos de descarga, con la aprobación del Ministerio del Ambiente, previo al otorgamiento de la Licencia Ambiental.

En el caso de varias municipalidades que descarguen sus efluentes al mismo cuerpo receptor, será necesario establecer convenios para coordinación de acciones necesarias para el proceso de descontaminación conjunto. Los laboratorios de química del agua que realicen los análisis de efluentes o cuerpos receptores deberán estar acreditados por la OAE.

De acuerdo con su caracterización toda descarga puntual al sistema de alcantarillado y toda descarga puntual o no puntual a un cuerpo receptor, deberá cumplir con las disposiciones de esta Norma.

Las EPS o los responsables (propietario y operador) de todo sistema de alcantarillado deberán dar cumplimiento a las normas de descarga contenidas en esta Norma. Si la EPS o el propietario (parcial o total) del sistema de alcantarillado es un municipio, éste no podrá ser sin excepción, la Entidad Ambiental de Control para sus instalaciones. Se evitará el conflicto de interés.

Los sedimentos, lodos de tratamiento de aguas de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y

cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, de acuerdo a su composición. Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán adaptar sus ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas, en sujeción a lo establecido en la presente norma.

Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos en áreas no anegadas, se establece lo siguiente:

Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de cincuenta (50) metros, y la aplicación aérea de los mismos, dentro de una franja de cien (100) metros, medidas en ambos casos desde las orillas de todo cuerpo de agua,

La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente, requerirá la autorización del Ministerio del Ambiente, para lo cual se requiere el informe previo del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

## **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA.**

Además de las disposiciones contenidas en la presente Norma, se deberá cumplir las demás de carácter legal y reglamentario sobre el tema.

Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Nacional de Control Ambiental deberá



establecer los objetivos de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras. Los límites de descarga que deberá cumplir el regulado serán determinados mediante balance de masa del parámetro en consideración.

La Entidad Ambiental de Control determinará el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área de afectación de la descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras.

Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.

Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas.

Se prohíbe la infiltración al suelo, de efluentes industriales tratados y no tratados, sin permiso de la Autoridad Nacional de Control Ambiental.

Se prohíbe todo tipo de descarga en:

Las cabeceras de las fuentes de agua.

Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras de agua potable rural.

Se prohíbe verter desechos sólidos, tales como: basuras, animales muertos, mobiliario, entre otros, y líquidos contaminados hacia cualquier cuerpo de agua y cauce de aguas estacionales secas o no.

Se prohíbe el lavado de vehículos en los cuerpos de agua, así como dentro de una franja de cien(100) metros medidos desde las orillas de todo cuerpo de agua, de vehículos de transporte terrestre y aeronaves de fumigación, así como el de aplicadores manuales y aéreos de agroquímicos y otras sustancias tóxicas y sus envases, recipientes o empaques.

Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.

### **NORMAS GENERALES PARA DESCARGA DE EFLUENTES AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.**

Los sistemas de drenaje industrial para las aguas domésticas y pluviales que se generen en una industria, deberán encontrarse separadas en sus respectivos sistemas o colectores.

Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado proveniente del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, para tratamiento conjunto. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Nacional de Control Ambiental.

Cuando los regulados, aun cumpliendo con las normas de descarga, contribuyan con una carga que afecte a la planta de tratamiento, la Autoridad Nacional de Control Ambiental podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos que la Entidad Prestadora de Servicio deberá realizar para justificar esta decisión.

Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario o de aguas lluvias de cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa.

Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).

Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.

Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.

Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.

Cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno y sustancias tóxicas.

Se prohíbe la descarga hacia el sistema de alcantarillado de residuos líquidos no tratados, que contengan restos de aceite lubricante, grasas, etc., provenientes de los talleres mecánicos, vulcanizadoras, restaurantes, hoteles y otras actividades de servicio.

### **CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA O DE RIEGO**

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la TABLA 3 y la TABLA 4.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan en la TABLA 3.

**Tabla 4 Criterios de Calidad de Aguas para riego Agrícola**

<b>TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CRITERIO DE CALIDAD</b>
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	<u>Cr</u> +6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos	Li	mg/l	Ausencia
Litio			2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

**Fuente: Libro VI. Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes. Recurso Agua.**

Además de los criterios indicados, la Autoridad Ambiental Competente utilizará también las guías indicadas en la TABLA 4, para la interpretación de la calidad del agua para riego.

Tabla 5 Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego

**TABLA 4: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero Moderado	Severo
<b>Salinidad: (1)</b>	<u>milimhos/cm</u>	<u>0,7</u>	<u>0,7-3,0</u>	<u>&gt;3,0</u>
<u>CE (2) SDT</u>	<u>mg/l</u>	<u>450</u>	<u>450-2000</u>	<u>&gt;2000</u>
<b>Infiltración: (4)</b>				
<u>RAS=0-3yCE=</u>		<u>0,7</u>	<u>0,7-0,2</u>	<u>&lt;0,2</u>
<u>RAS=3-6yCE=</u>		<u>1,2</u>	<u>1,2-0,3</u>	<u>&lt;0,3</u>
<u>RAS=6-</u>			<u>1,90</u>	<u>&lt;0,5</u>
<u>RAS=12-</u>		<u>2,9</u>	<u>2,9-1,3</u>	<u>&lt;1,3</u>
<u>20yCE=</u>		<u>5,0</u>	<u>5,0-2,9</u>	<u>&lt;2,9</u>
<b>Toxicidad por iones específicos (5) Sodio:</b>				
<u>Irrigación superficial RAS (6)</u>		<u>3,0</u>	<u>3,0-9,0</u>	<u>&gt;9</u>
<u>Aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0</u>	
<b>Cloruros:</b>	<u>meq/l</u>	<u>4,0</u>	<u>4,0-10,0</u>	<u>&gt;10</u>
<u>Irrigación Superficial</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0 0,7-</u>	
<u>Aspersión</u>	<u>mg/l</u>	<u>0,7</u>	<u>3,0</u>	<u>&gt;3</u>
<b>Boro:</b>				
<b>Efectos misceláneos (7)</b>				
<u>Nitrógeno (N NO<sub>3</sub> )</u>	<u>mg/l</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0-30,0</u>	<u>&gt;30</u>
<u>Bicarbonato (HCO<sub>3</sub> ) Solo</u>				
<u>aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>1,5</u>	<u>1,5-8,5</u>	<u>&gt;8,5</u>
<u>pH</u>	Rango normal		<u>6,5-8,4</u>	

\* Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

Fuente: Libro VI. Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes. Recurso Agua.

(1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos

(2) CE= Conductividad eléctrica del agua de regadío

(1milimhos/cm=1000micromhos/cm)

(3) SDT = Sólidos disueltos totales

(4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo

(5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos

(6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada

(7) Afecta a los cultivos susceptibles

**Según el Título IV Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Capítulo IV.- del Control Ambiental.**

**"Art. 80.-** Incumplimiento de Normas Técnicas Ambientales.-Cuando mediante controles, inspecciones o auditorías ambientales efectuados por la entidad ambiental de control, se constate que un regulado no cumple con las normas técnicas ambientales o con su plan de manejo ambiental, la entidad ambiental de control adoptará las siguientes decisiones:

Imposición de una multa entre los 20 y 200 salarios básicos unificados, la misma que se valorará en función del nivel y el tiempo de incumplimiento de las normas, sin perjuicio de la suspensión del permiso, licencia otorgado, hasta el pago de la multa. En caso de reincidencia, a más de la multa correspondiente, se

retirarán las autorizaciones ambientales emitidas a favor del infractor, particularmente el permiso de Descarga, Emisiones y Vertidos.

Si el incumplimiento obedece a fallas en el diseño o en el montaje u operación de los sistemas de control, producción o cualquier sistema operativo a cargo del regulado, el permiso de emisión, descarga y vertido se condicionará por el tiempo que según el estudio técnico correspondiente, requieran los ajustes, autorizando la modificación del plan de manejo ambiental del regulado, si fuere necesario.

Si debido al incumplimiento de las normas técnicas se afecta ambientalmente a la comunidad, a más de la multa respectiva, se procederá a la restauración de los recursos naturales, afectados y al respectiva indemnización a la comunidad. Si el regulado informa a la entidad ambiental de control que se encuentra en incumplimiento de las normas técnicas ambientales dentro de las 24 horas de haber incurrido tal incumplimiento o en el primer día hábil, de ocurrir éste en feriados o fines de semana, no será sancionado con la multa prevista, pero le serán aplicables el resto de disposiciones de este artículo.

La información inmediata del regulado de que se encuentra en incumplimiento de las normas técnicas ambientales, le prevendrá de ser multado solamente por una ocasión durante la vigencia de la Auditoría Ambiental de Cumplimiento que los regulados deben efectuar bianualmente."



## **2.5. HIPÓTESIS**

¿La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales permitirá reducir desinfectantes clorados, detergentes, aceites y grasas, para reutilizarla en cultivos de tipo asociativo en sector parque del atún del cantón Jaramijó?

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de tesis fue de tipo básico-aplicado, en virtud de que se realizaron muestreos en diferentes partes de la planta orientado al logro de objetivos del proyecto, se aplicó investigación de campo pues consistió en un estudio sistemático de la empresa en donde su principal problema es la descarga del efluente sin tratamiento al medio ambiente. La investigación bibliográfica permitió conocer, comparar, ampliar, profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre el tema en estudio.

Es importante indicar que la investigación de contenidos en lo que compete al tema diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la reducción de desinfectantes clorados, detergentes, aceites y grasas en la empresa ASISERVY S. A. sector Jaramijó, están basados en documentos disponibles en páginas web, libros u obras de evaluación de proyectos, toma de decisiones, entre otras fuentes de información.

#### **3.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

Las técnicas que se emplearon para la recopilación de información en esta investigación fueron: La experimentación, la observación y análisis.

### **3.2.1. EXPERIMENTACIÓN**

La presente investigación estuvo orientada a esta técnica, debido a la toma de muestras y realización de análisis de laboratorio, que permitieron el logro de los objetivos planteados así como también de la hipótesis.

### **3.2.2. OBSERVACIÓN**

Esta técnica fue el instrumento fundamental de todo el proceso investigativo; sirviendo de apoyo para la obtención de información relevante, que fue utilizada para su posterior análisis.

La recolección de la información final se realizó utilizando los métodos Descriptivos y Analíticos, manifestado mediante tablas con los resultados obtenidos.

### **3.2.3. ANÁLISIS**

Se analizó la información, así como también los conjuntos de métodos y técnicas de investigación aplicados, destinados a facilitar la descripción e interpretación sistemática de los componentes semánticos y formales de todo tipo de recomendación, y la formulación de inferencias válidas acerca de los datos reunidos.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 6 Operacionalización de las variables

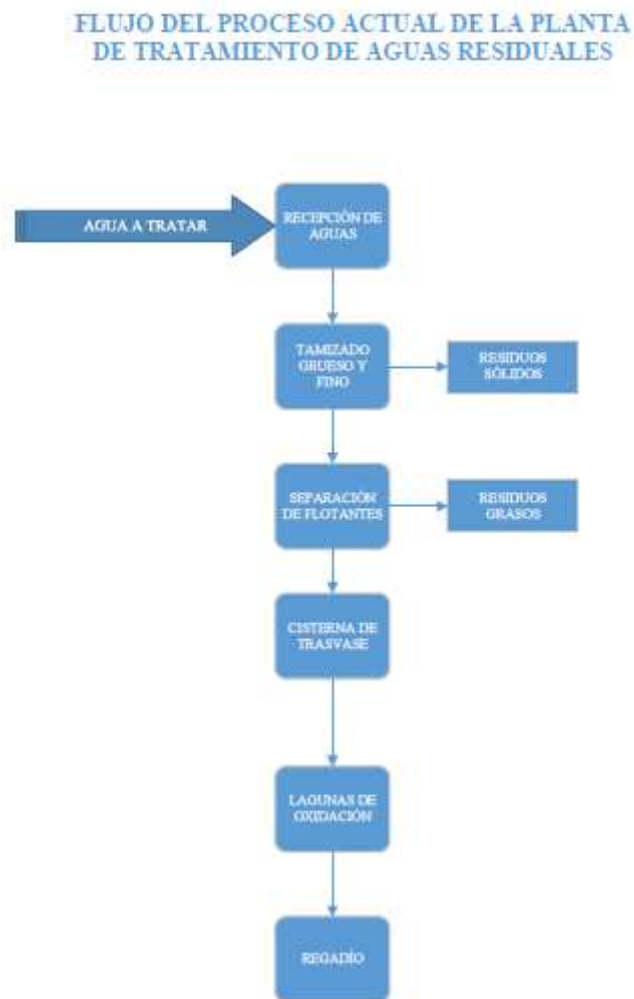
Variables	Conceptualización	Indicadores
<b>VI:</b> Sistema de tratamiento de Aguas Residuales	El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano.	Tipos de sistema  Métodos de tratamiento
<b>VD:</b> Aguas recuperadas	Agua que ha sido tratada que presenta condiciones que permiten que se emplee para usos concretos.	DQO, TDS, DBO, Cloruros, aceites y grasas.

Elaborador por: Mayorga D. 2017

### 3.4. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los efluentes generados en los procesos de la planta industrial ASISERVY, son llevados mediante un sistema de bombeo hacia un sistema de lagunaje. La empresa cuenta con 2 piscinas que son utilizadas como reservorio de tránsito, una tercera piscina donde se realiza un tratamiento biológico incompleto, y una cuarta piscina de reposo y direccionamiento de agua para regadío que no cumplen ciertos parámetros ambientales.

**Figura 1 Flujo Actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**



Elaborador por: Mayorga D. 2017

### **3.5. PROCEDIMIENTOS**

#### **3.5.1. TOMA DE MUESTRAS**

Se realizó el muestreo en la laguna de oxidación 3 donde se efectuó un proceso biológico sin aireación y en la piscina 4 en donde se almacena el agua para su descarga. El tiempo de residencia del agua en las lagunas de oxidación con el tratamiento actual de la planta supera los 3 días, por ello se analizó sus

parámetros a través de un muestreo simple en cada una de ellas ya que no existe variación en su composición.

### **3.5.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA**

La caracterización de las aguas inició con el análisis de laboratorio físico, químico y microbiológico de las aguas determinando los parámetros de su composición: Grasas y aceites, metales pesados, TDS, SST, pH, Temperatura, cloruros, nitratos, conductividad, huevos de parásitos y coliformes fecales. Haciendo uso de los siguientes materiales y equipos: (Ver Anexo 5)

- ✓ Pipeta volumétrica de 1ml
- ✓ Pinzas y soportes universales
- ✓ Termómetro
- ✓ Colorímetro DR890
- ✓ Multiparámetro: pH – Conductividad
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Banco para prueba de jarras
- ✓ Recipientes plásticos

Donde se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 7 Resultados de análisis físico –químico del agua residual VS Criterios basados en la tablas 3 y 4 respectivamente del anexo uno del acuerdo ministerial 061 del Tulsma.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNDS</b>	<b>MUESTRA PISCINA 3</b>	<b>MUESTRA PISCINA 4</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>
Conductividad	mMHOS/cm	9,60	9,57	>3,0 GR=Severo 0,7-3,0 GR=Ligero
Boro	mg/l	1,40	1,50	moderado
Índice sar	-	33,8	3,8	1,2 GR= Ninguno
Cloruros	meq/l	68,41	58,60	> 10,0 GR= Severo 5,0 - 30,0 GR= Ligero
N-nitratos	mg/l	1,10	12,40	moderado
Bicarbonatos	meq/l	16,64	34,77	>8,5 GR= Severo 6,5 - 8,4 GR=Ligero
pH	Unds de ph	8,29	8,08	moderado
Sólidos totales disueltos	mg/l	6385,00	6699,0	>2000 GR= Severo
Sodio	meq/l	69,29	27,71	>9 GR= Severo

**Fuente: ASISERVY S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. (2017)**

**Tabla 8 Resultados de análisis físico –químico del agua residual VS Criterios basados en la tablas 3 y 4 respectivamente del anexo uno del acuerdo ministerial 061 del Tulsma.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MUESTRA PISCINA 3</b>	<b>MUESTRA PISCINA 4</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>
Aceites y grasas	mg/l	27,00	<20	AUSENCIA
Aluminio	mg/l	<0,50	<0,50	5,0
Arsénico	mg/l	0,01	0,007	0,1
Berilio	mg/l	<0,10	<0,10	0,1
Boro	mg/l	0,50	0,60	0,75
Cadmio	mg/l	<0,01	0,02	0,05
Cobalto	mg/l	<0,01	<0,01	0,01
Cobre	mg/l	<0,20	<0,20	0,2
Cromo vi	mg/l	<0,05	0,06	0,1
Fluoruros	mg/l	<0,20	0,30	1,0
Hierro	mg/l	0,40	1,04	5,0
Manganeso	mg/l	<0,08	<0,80	0,2
Materia flotante	-	Presencia	Ausencia	AUSENCIA
Mercurio	mg/l	<0,0004	<0,0004	0,0001
N-nitritos	mg/l	0,02	0,02	0,5
Níquel	mg/l	<0,10	<0,10	0,2
Oxígeno disuelto	mg/l	3,37	5,03	3
Ph	Uds de pH	9,19	8,09	6 a 9
Plomo	mg/l	<0,40	<0,40	5,0
Sulfatos	mg/l	105,98	16,45	250
Zinc	mg/l	<0,50	<0,50	2,0

Fuente: ASISERVY S.A

Elaborado por: Mayorga D. (2017)



**Tabla 9 Resultados de microbiológico del agua residual VS Criterios basados en la tablas 3 del anexo uno del acuerdo ministerial 061 del Tulsma.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Muestra piscina 3</b>	<b>Muestra piscina 4</b>	<b>Valores de referencia</b>
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 ml	<1.8	<1.8	1000
<b>Huevos de parásitos</b>	AUS/PRES	Ausencia	Ausencia	AUSENCIA

Fuente: ASISERVY S.A

Elaborado por: Mayorga D. (2017)

De acuerdo a los resultados obtenidos (Ver tablas 7, 8 y 9) de los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados a las muestras, se evidenció parámetros que se encuentran fuera del límite permitido por la ley ambiental.

A partir de los resultados presentados y bajo las condiciones actuales de trabajo, se realizó la respectiva evaluación en función al nivel de grasa (Ver Tabla 10) y a la aportación de sólidos suspendidos del agua final para minimizar problemas de saturación de suelos como elementos macronutrientes, y se evaluó en función a la conductividad o al nivel de cloruros presentes en el sistema como elementos micronutrientes. (Ver Tabla 11)

**Tabla 10 Nivel de grasas de las muestras**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado de la muestra piscina 3</b>	<b>Resultado de la muestra piscina 4</b>
<b>Aceite y grasas</b>	mg/l	<20	27

Fuente: ASISERVY S.A

Elaborado por: Mayorga D. (2017)

**Tabla 11 Nivel de conductividad e índice sar de las muestras**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado de la muestra piscina 3</b>	<b>Resultado de la muestra piscina 4</b>
<b>Conductividad</b>	mMHOS/cm	9,57	9,6
<b>Índice Sar</b>	-	3,8	33,8

Fuente: ASISERVY S.A

Elaborado por: Mayorga D. (2017)

En base a los datos de las tablas 10 y 11 se realizó pruebas para determinar la aplicación del tratamiento a seguir incluyendo la toma de muestra en la cisterna de captación adicionando los datos de los sólidos suspendidos. Empleándose los siguientes reactivos: Solución buffer pH 4.01, 7 y 10 para calibración de pH metro, sulfato de aluminio líquido, coagulante orgánico, floculante anionico y floculante catiónico, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 12 Análisis físico – químico de las aguas residuales**

<b>Muestras</b>	<b>Densidad</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Sólidos suspendidos</b>
<b>Agua cruda</b>	1	6,8	13,86	2000
<b>Laguna 3</b>	1	8,1	9,76	900
<b>Laguna 4</b>	1,002	8,4	7,48	200

**Fuente: ASISERVY S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. (2017)**

Para determinar en qué etapa del tratamiento se podía usar un proceso físico-químico que disminuya los niveles fuera de parámetros permitidos, se realizó el test de jarras.

### **3.5.3. DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMAS Y SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO**

Para simular el proceso de floculación y coagulación y con la presencia elevada de sólidos suspendidos, las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se realizó las pruebas de test de jarras a fin de identificar en qué etapa del tratamiento se puede aplicar un proceso físico-químico, determinar el consumo de productos químicos en cada una de las etapas del tratamiento y verificar el costo beneficio por cada reacción y así establecer el diseño de la Planta de Tratamiento que se ajuste a la empresa.

Se evaluó varias combinaciones de distintos coagulantes, manteniendo como estándar el uso del floculante anionico, realizado en dos partes:

**Tabla 13 Cuadro de evaluación de combinaciones primera parte**

<b>Muestra</b>	<b>Químico 1</b>		<b>Químico 2</b>		<b>Químico 3</b>	<b>Resultado</b>
Muestra cruda	Sulfato de aluminio líquido	+		+	floculante anionico	Resultado + pero consumo elevados de productos
	PAC	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Resultado + pero consumo elevados de productos
	sulfato férrico	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Resultado + pero consumo elevados de productos
Muestra laguna 3	Sulfato de aluminio líquido	con y sin	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Reacción más adecuada
	PAC	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Reacción lenta y exceso de producto
	Sulfato férrico	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Reacción lenta y exceso de producto
Muestra laguna 4	Sulfato de aluminio líquido	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Reacción más adecuada
	PAC	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Reacción lenta y exceso de producto
	Sulfato férrico	+	Poliamina líquida	+	floculante anionico	Reacción lenta y exceso de producto

**Fuente: ASISERVY S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. (2017)**

En la segunda parte se realizó combinaciones con coagulantes manteniendo como estándar el floculante catiónico.

**Tabla 14 Cuadro de evaluación de combinaciones segunda parte**

<b>Muestras</b>	<b>Químico 1</b>		<b>Químico 2</b>	<b>Resultado</b>
Muestra laguna 3	Sulfato de aluminio líquido	+	floculante catiónico	Reacción más adecuada
	PAC	+	floculante catiónico	Exceso de Pac, reacción no adecuada.
	Sulfato férrico	+	floculante catiónico	Exceso de sulfato férrico, reacción no adecuada
Muestra laguna 4	Sulfato de aluminio líquido	+	floculante catiónico	Reacción más adecuada
	PAC	+	floculante catiónico	Exceso de Pac, reacción no adecuada
	Sulfato férrico	+	floculante catiónico	Exceso de sulfato férrico, reacción no adecuada
	Floculante anionico	+	floculante catiónico	Reacción más adecuada

**Fuente: ASISERVY S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. (2017)**

Luego de realizar varias combinaciones de productos en las tres muestras consideradas, se realizaron análisis con las combinaciones más adecuadas y se establecieron los tres escenarios con el consumo de químicos donde se obtuvo:

**1.- Consumo de productos químicos en muestra de agua cruda.**

Se toma una muestra del agua proveniente de los procesos de producción, se analiza una muestra homogénea donde el sólido suspendido da como resultado 2000 mg/l, donde se evidencia que los sólidos del agua son difíciles de decantar.

Se toma como muestra 514 gramos de agua para realizar la prueba de jarras, y se obtienen datos iniciales de pH y conductividad. (Ver figura 2)



**Figura 2 Muestra de agua cruda**

**Fuente: ASISERVY S.A**

Posterior a ello, se agrega la cantidad necesaria de sulfato de aluminio líquido para coagular, lo que reacciona al adicionar 2.5 ml de sulfato, y 96 ml de floculante al 0.0005%. Obteniéndose la siguiente separación:



**Figura 3 Adición de químicos en muestra de agua cruda**

**Fuente: ASISERVY S.A**

Se observa que el consumo de producto químico coagulante es elevado, lo que lleva a tener un lodo físico-químico con una carga alta de aluminio, con 12 gramos de lodos más 18 gramos (peso de envase vacío), peso total de prueba en lodos 30 gramos con una coloración final del agua poco aceptable.

## 2.- Consumo de productos químicos en el agua laguna n°3.

Luego de pasar por el proceso de maduración el cual consiste en una laguna sin aireación, con una capacidad 8.032,16 m<sup>3</sup> y un tiempo de residencia aproximado de 3 a 4 días se toma una muestra de 598 gramos y se obtienen datos iniciales de pH y conductividad. (Ver figura 4)



**Figura 4 Muestra de agua piscina 3**

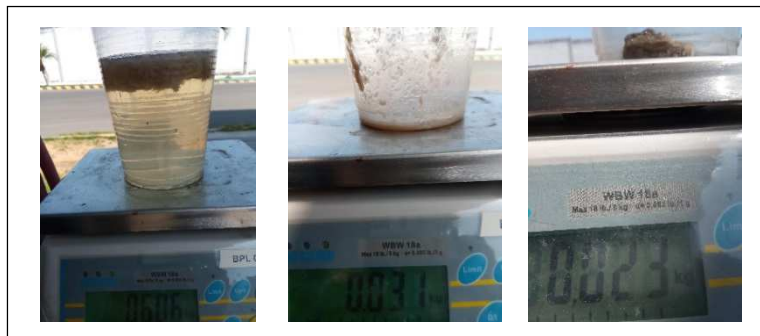
**Fuente: ASISERVY S.A**

Con la muestra tomada de la laguna tres, se realizan dos pruebas paralelas, en la primera se aplica sulfato y floculante anionico (recipiente lado izquierdo), y una segunda prueba usando sulfato, Poliamina y floculantes anionico (recipiente lado derecho) (Ver figura 5), donde se evidencia como el coagulante orgánico cambia la forma del lodo y por ende sus respectivos pesos. (Ver figura 6)



**Figura 5 Pruebas paralelas en laguna 3**

**Fuente: ASISERVY S.A**

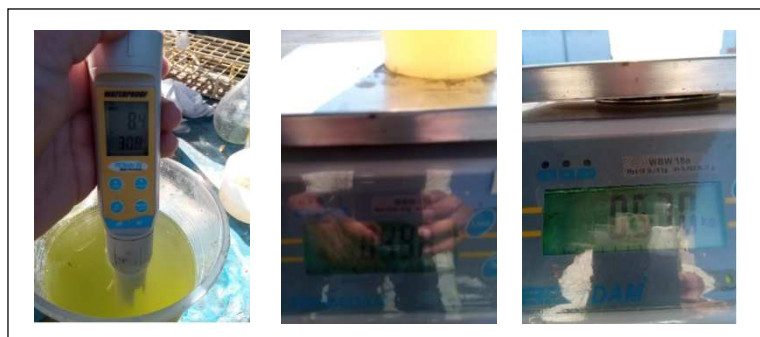


**Figura 6 Pesos de lodos de pruebas paralelas**

**Fuente: ASISERVY S.A**

### **3.- Consumo de productos químicos en el agua laguna n°4.**

Al igual que en la laguna 3 se realiza pruebas paralelas de la muestra, obteniendo inicialmente los datos de pH y conductividad en 498 gramos de muestra inicial. (Ver figura 7)



**Figura 7 Pruebas paralelas en laguna 4**

**Fuente: ASISERVY S.A**

La cantidad de coagulantes aplicados fue considerablemente baja en función al floculante que fue más elevado que el de las pruebas realizadas en la muestra de la laguna 3.



Luego de la evaluación con el coagulante catiónico, se opta por probar la reacción que posiblemente generarían un proceso y desechos más biodegradables y por ende un menor uso de coagulantes inorgánicos.

En esta prueba solo se usa floclulantes, el catiónico y el anionico, donde se observa que el consumo de productos químicos es muy bajo y la generación de lodo es menor, aunque presentó una consistencia más compacta.

### **1.- Consumo de productos químicos en el agua laguna n°3.**

Se usa solo dos gramos de productos químicos, un gramo de coagulante catiónico preparado 0.1% y 1 ml de floclulante anionico preparado al 0.005%, dando como resultado 4 gramos de lodos en una muestra inicial de 525 gramos.

(Ver figura 8)



**Figura 8 Adición de químicos en agua de laguna 3**

**Fuente: ASISERVY S.A**

### **2.- Consumo de productos químicos en el agua laguna n°4.**

Se usa más coagulante, dos gramos de floclulante anionico al 0.1% y 10 gramos de floclulante anionico al 0.005% con una muestra de 601 gramos. Se obtiene 2 gramos de lodo o una especie de concentrado de clorofila, lo que demuestra que se puede obtener un producto bien degradable o reutilizable para

otros fines, los cuales no serán evaluados en la presente investigación. (Ver figura 9)



**Figura 9 Adición de químicos en agua de laguna 4**

**Fuente: ASISERVY S.A**

### **3.6. RECOLECCIÓN Y TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Para llevar a cabo esta investigación fue necesario ejecutar paso a paso todo el procedimiento planteado.

### **3.7. PLAN PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Toda la información necesaria se recopiló en su mayoría en la investigación de campo. La misma que utilizó técnicas, instrumentos de trabajo en el campo y material didáctico, que permitieron desarrollar un diagnóstico y una observación previa. La recopilación de información necesaria adquirida de todas las fuentes aportó en la efectividad de los resultados y por ende al establecimiento de las conclusiones.

### **3.8. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Una vez recopilada toda la información requerida en el campo y fuentes adyacentes, fueron analizadas, clasificadas y presentadas mediante tablas para luego procesarlas y transformar los resultados del presente estudio. Lo que permitió establecer una relación entre los resultados y así lograr la presentación de las conclusiones y recomendaciones finales.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS**

Se establece mediante las pruebas realizadas que el aplicar un proceso físico-químico al inicio del sistema de lagunaje no es el más óptimo por su alto consumo de químicos para su floculación y coagulación con un porcentaje de lodo de 2,33 Vs el peso inicial de la muestra. (Ver tabla 15)

**Tabla 15 Resultados de prueba con floculante anionico**

Muestra	Densidad agua (gr/cc)	pH	Conductividad	Sólidos suspendidos	Peso inicial (gr)	Peso con producto químico	Peso producto químicos usado	Sulfato de Al (ml)	ppm usado coagulante (sulfato Al, líquido)	ppm usado Coagulante orgánico poliamina líquida	ml floculante Aniónico 0,0005%	Peso de Iodo hidratado	Peso vaso vacío	% de Iodos vs peso inicial
Agua cruda	1	6,8	13,86	2000	514	614	100	2,5	6396	0	96	12	18	2,3346 3035
Laguna 3	1	8,1	9,76	900	598	606	8	0,1	220	0	8	13		2,1739 1304
Laguna 3	1	8,1	9,76	900	598	602	4	0,07	154	8	4	5		0,8361 204
Laguna 4	1,002	8,4	7,48	200	498	570	72	0,06	158	0	72	9		1,8072 2892
Laguna 4	1,002	8,4	7,48	200	498	571	73	0,02	52,8	10	72	7		1,4056 2249

Fuente: ASISERVY S.A

Elaborado por: Mayorga D. (2017)

Es por ello que se evalúa el tratamiento físico-químico en el sistema de lagunaje 3 y 4. Luego del análisis de las aguas residuales, se evidencia que el sistema de maduración ayuda significativamente a transformar los sólidos suspendidos iniciales en un desecho final de algas con posible elevado contenido de clorofila, se aprecia la disminución considerable de los coagulantes inorgánicos al uso de producto de tipo orgánico, como son de naturaleza el floculante y el coagulante.

**Tabla 16 Resultados de prueba con floculante catiónico**

<b>Muestra</b>	<b>Densidad agua gramo/cc</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Sólidos suspendidos</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso con producto químico</b>	<b>Peso producto químico usado</b>	<b>Floculante catiónico 0,01%</b>	<b>ml floculante Anionico 0,0005%</b>	<b>Peso de lodo hidratado</b>	<b>Peso vaso vacío</b>	<b>% de lodos vs peso inicial</b>
<b>Muestra laguna 3</b>	1	8,1	9,76	900	525	527	2	1	1	4		0,7619
<b>Muestra laguna 3</b>	1	8,1	9,76	900	525	527	2	1	1	4		0,7619
<b>Muestra laguna 4</b>	1,002	8,4	7,48	200	601	613	12	2	10	2		0,3327
<b>Muestra laguna 4</b>	1,002	8,4	7,48	200	601	613	12	2	10	2		0,3327

Fuente: ASISERVY S.A

Elaborado por: Mayorga D. (2017)

## 4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determina que tanto en la laguna 3 como en la laguna 4 es posible el uso de solo un DAF, que permita reducir el nivel de grasas, eliminar los sólidos suspendidos que puedan generar problemas en el suelo.

## 4.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El tratamiento físico – químico al ser un proceso que contribuye a la disminución efectiva de parámetros, luego de su aplicación se analizó el efluente tratado comprobando que sus valores disminuyeron encontrándose dentro de los rangos permitidos por la Legislación ambiental, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 17 Resultados de análisis del agua tratada por proceso físico - químico**

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNDS</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>
Conductividad	mMHOS/cm	2,03	>3,0 GR=Severo
Índice Sar	-	1,0	1,2 GR= Ninguno
Cloruros	meq/l	8,50	> 10,0 GR= Severo
Bicarbonatos	meq/l	7,47	>8,5 GR= Severo
pH	Unds de ph	7,5	6,5 - 8,4 GR=Ligero moderado
Sólidos totales disueltos	mg/l	1679,0	>2000 GR= Severo
Sodio	meq/l	6,21	>9 GR= Severo

**Fuente: ASISERVY S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. (2017)**



## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- ✓ La determinación de las características físico-químicas de las aguas residuales mediante la medición de parámetros en el laboratorio, permitió establecer las pruebas de tratabilidad para identificar el sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en la planta industrial ASISERVY S.A y que contribuyeron al dimensionamiento de la planta de tratamiento.
- ✓ En las pruebas físico-químicas de laboratorio se dosificó floculantes y coagulantes químicos en las aguas residuales para su tratamiento produciendo un 2,33% de remoción de contaminantes usando floculante anionico y un 0,76% con floculante catiónico.
- ✓ El tratamiento de aguas residuales a escala en el laboratorio mediante un proceso físico – químico permitió determinar que los parámetros son aptos para la reutilización de las aguas tratadas en el riego de cultivos de tipo asociativo de acuerdo a valores referenciales establecidos por la Ley ambiental.

#### **5.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ Realizar una adecuada tipificación de las aguas residuales antes de proyectar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, para

no incurrir en costos adicionales y asegurar el buen funcionamiento de la planta.

- ✓ Añadir un nuevo proceso físico – químico que mejore el desempeño, eficiencia del tratamiento y cumplimiento de parámetros de descarga del agua.
- ✓ Aplicar un tratamiento de lagunaje optimizado que permita acelerar el proceso de degradación de materia orgánica, micronutrientes y contaminantes presentes en el agua.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. PROPUESTA**

Diseñar un tratamiento de aguas residuales que se adapte a las condiciones actuales de la empresa para ser reutilizada en regadío en cultivos de tipo asociativo (Neem, Moringa y Maracuyá).

#### **6.1. JUSTIFICACIÓN**

“El incremento de procesos a nivel industrial sin una planificación estratégica hace que poco o casi nada sea tomado en cuenta el tratamiento de sus residuos generados, por ende el tratamiento inadecuado de las aguas puede generar distintas consecuencias desde problemas económicos para la empresa hasta afectaciones medioambientales que conllevan inconvenientes con la entidad regulatoria”.

“El tratamiento y diseño que se propone de acuerdo a los resultados obtenidos, garantiza que esta agua ya no contiene la contaminación inicial pudiendo perfectamente tratar el 100% las aguas industriales que provienen de los procesos de la planta ASISERVY, al contar con el recurso económico y disponer del espacio físico para su implementación, la ejecución del mismo podrá generar beneficios para la empresa y el medio ambiente. En este sector las probabilidades de lluvia son de 4mm al año, siendo considerada una baja proporción, el terreno es muy productivo y no ha sido correctamente explotado por falta de regadío, este

proyecto permitirá cambiar este panorama con respecto a la necesidad de agua suficiente para este fin”.

## **6.2. FUNDAMENTACIÓN**

"Al obtener parámetros idóneos de descarga de agua para riego, ésta contiene nutrientes, proteínas y es rica en componentes necesarios para el suelo que pueden ser absorbidos por las plantaciones muy fácilmente, haciendo que su desarrollo sea adecuado, obteniendo el suministro necesario y constante de agua para los tipos de cultivos indicados.

Las aguas tratadas en un sistema piloto fueron utilizadas para riego en un segmento de cultivos de tipo asociativo obteniendo resultados favorables. (Ver Anexo AA)

## **6.3. OBJETIVOS**

- Diseñar y calcular el dimensionamiento de los procesos adicionales de tratamiento de aguas residuales generadas en la empresa ASISERVY.
- Determinar la factibilidad económica y física para la incorporación de procesos adicionales en el tratamiento de aguas residuales.
- Reutilizar el agua tratada en el riego de cultivos de tipo asociativo.

## **6.4. IMPORTANCIA**

Actualmente los procesos para el tratamiento de las aguas residuales en la planta son deficientes, sus descargas generan contaminación al suelo y a su vez

afectan las plantaciones existentes en el área. El reestructurar estos procesos permitirá optimizar la remoción de contaminantes generados, obtener un retorno económico a través de la reutilización del recurso logrando cumplir con la normativa legal vigente.

## **6.5. UBICACIÓN SECTORIAL**

Planta Industrial y Finca propiedad del Eco. Gustavo Núñez Marquez, ubicada en el Sector Parque del Atún del Cantón Jaramijó.

## **6.6. FACTIBILIDAD**

Se elabora un análisis costo - beneficio para calcular el retorno de la inversión.

## **6.7. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

### **6.7.1. MEDICIÓN DE CAUDALES**

Este método consiste en determinar la cantidad de agua residual que la planta descarga diariamente. En la cisterna de captación se contempla a su capacidad máxima sin permitir que ingrese más efluente, vaciando la cisterna varias veces al día esta cantidad se multiplica por el volumen de la cisterna obteniendo el caudal diario de la planta.

Se cuenta con 2 cisternas de 30 metros cúbicos cada una, de las cuales son 58 metros cúbicos útiles entre las dos para captación y desalojo de las aguas residuales, obteniendo 5,5 evacuaciones durante un día completo.

Dando como resultado un caudal medio de 319 metros cúbicos, por ende, este resultado se lo toma como un caudal mínimo de diseño e incrementamos un 30% de capacidad (se incrementa ya que es el porcentaje de pérdidas durante el proceso de producción), se tomará como el caudal máximo promedio de diseño siendo 450 metros cúbicos.

#### 6.7.1.1. ESTIMACIÓN DE CAUDAL

Las descargas generadas en Asiservy S.A. se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 18 Estimación de caudales**

<b>CAUDAL Medio Diseño</b>	<b>CAUDAL MÁXIMO Promedio Diseño</b>	<b>DBO Diseño (mg/L)</b>	<b>DQO Diseño (mg/L)</b>
319 m3/día	450 m3/día	2760	5593,10

**Fuente: ASISERVY S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. (2017)**

De lo anteriormente expuesto se puede decir que los caudales a utilizar para efecto de diseño serán:

Q Medio Diseño = 4 L/seg.

Q Máximo Diseño = 5,5 L/seg.

## **6.7.2. DIMENSIONAMIENTO DE CAPACIDADES Y DISEÑO**

Basado en los datos obtenidos mediante la medición de caudales, se procederá al cálculo de capacidades de cada una de las fases del proceso de tratamiento planteado para esquematizar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

### **6.7.2.1. FASES DEL TRATAMIENTO**

#### **a) Tratamiento preliminar.**

##### **- Separador de Aceites y Grasa Libres:**

Esta Unidad tiene la finalidad de separar los aceites y grasas de las aguas residuales con un tiempo de residencia de 2 horas.

$$T_r = 2hr$$

$$Q = 5,5 L/seg = 20 m^3/h$$

$$V = 40 m^3$$

Si se construye en concreto debe poseer este volumen internamente desplazando el volumen que ocupan las Baffles internos.

##### **- Tanque de Igualación**

Actualmente existen tres unidades de operación con volumen total de 170,2 m<sup>3</sup>, una unidad con volumen útil de 112,2 m<sup>3</sup>, y otra con un volumen total de 29 m<sup>3</sup> y el último tanque que se utiliza como desnatadora con un volumen de

29 m<sup>3</sup>. El cual debe ser modificado eliminando sus paredes internas para poder ser utilizado como tanque de igualación total.

$$V_t = 112,2 \text{ m}^3 + 29 \text{ m}^3 + 29 \text{ m}^3 = 170,2 \text{ m}^3$$

$$V_t = 170,2 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen del tanque de igualación:

$$T_r = 13 \text{ h}$$

$$Q = 5,5 \text{ L/seg}$$

$$V = 257.400 \text{ Lts.}$$

Estos tres tanques no poseen el volumen apropiado para retener 13 horas de trabajo, por lo que se requiere la utilización de un cuarto tanque.

- **Aire Requerido para el Mezclado:**

A fin de garantizar un buen grado de mezclado se inyectará aire a través de sopladores. La (Federation, 2012), sostiene entre 20 y 30  $\text{pie}^3/\text{min}$  por cada 1000  $\text{pie}^3$  (28,3  $\text{m}^3$ ) para garantizar que los sólidos permanezcan en suspensión.

En este caso se tiene:

$$A_{rt} = 170,2 \text{ m}^3 \times 35,31 \frac{\text{pie}^3}{\text{m}^3} = 6.009,76 \text{ pie}^3$$

$$A_{rt} = 6.009,76 \text{ pie}^3 \times \frac{30 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}}{1000 \text{ pie}^3} = 180,29 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$



Desarrollar con un mezclado rápido trabajando en la zona de turbulencia, el esquema del tanque es de la siguiente forma:

Dónde:

$D$  = Diámetro del Impulsor

$D_t$  = Diámetro del Tanque

$h_i$  = Altura del Impulsor

$h$  = Altura del Tanque

El tanque tendrá (2) Paletas con una inclinación de  $45^\circ$ , entonces la relación establecida es:

$$W/D = 0,10$$

$$D_t/D = 3$$

De estas dos relaciones, se pueden obtener los valores  $D$  y  $W$ .

$$D = D_t/3$$

$$D = \frac{1,10 \text{ m}}{3} = 0,40 \text{ m}$$

Entonces:

$$W = 0,10 \times D$$

$$W = (0,10) \times (0,40\text{m}) = 0,04 \text{ m}$$

$$W = 4,0 \text{ cm}$$

La (Federation, 2012), establece un rango de diámetro impulsador a diámetro del tanque entre 30 a 50% lo cual concuerda el calculado.

El ancho de la Paleta debe ser de:

$$t = 0,25 D$$

$$t = (0,25) \times (0,40 \text{ m})$$

$$t = 0,10 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

Para la altura del impulsor se establece la siguiente relación:

$$\frac{h_i}{D} = 1,5 \text{ m}$$

Para este caso se escogerá 1,5 m. Siendo la altura del impulsor:

$$h_i = 1,5 \text{ m} \times 0,40$$

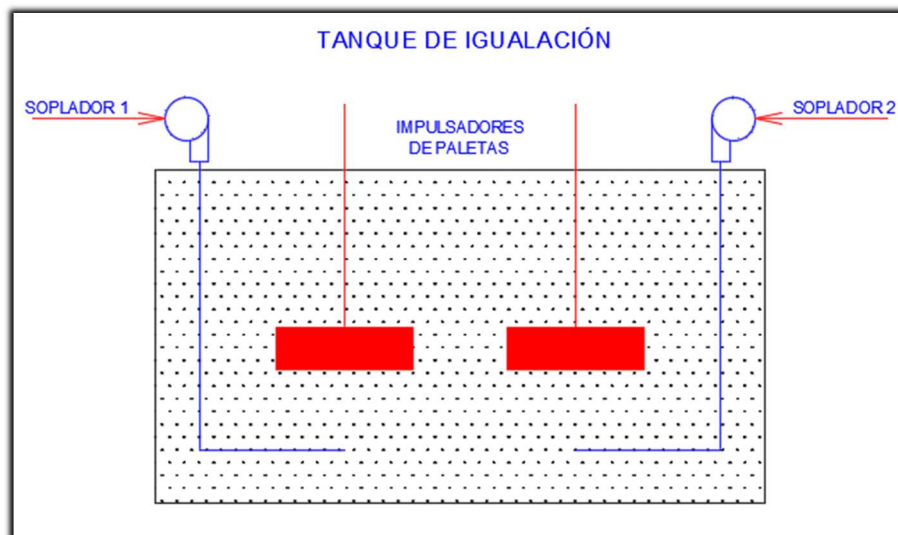
$$h_i = 0,6 \text{ m}$$

En este tanque la relación h/D es la siguiente:

$$\frac{h}{D} = (h_i + t)/0,6$$

$$\frac{h}{D} = \frac{1,5 + 0,1}{0,6} = 2,7$$

Para esta relación establece el (Mijares, 1978) entre 2,7 y 3,9 estando lo asumido y calculado dentro de este rango. El esquema del tanque es de la siguiente forma:



**Figura 10 Tanque de igualación**

**Fuente: Mayorga D. 2017**

**b) Tratamiento físico - químico:**

**- Mezclado Rápido:**

Bajo un régimen de turbulencia se agitará rápidamente el efluente con la finalidad de lograr un mezclado íntimo entre este y los agentes coagulantes.

Si se establece un tiempo de retención de 15 min. Con el caudal máximo promedio de  $5,5 \text{ L/seg}$ , el volumen del tanque queda:

$$V = Q \times T_r$$

$$V = 5,5 \text{ L/seg} \times 15 \text{ min} \times 60 \text{ seg/min} = 4,950 \text{ L}$$

$$\text{Altura útil} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Altura total} = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Area superficial} = 4,95 \frac{\text{m}^3}{1,5 \text{ m}} = 3,26 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 \times 3,26 \text{ m}^2}{\pi}} = 2 \text{ m}$$

Dimensiones del Tanque:

Diámetro: 2 m.

Alto: 1,7 m.

- **Cálculos de la Especificaciones del Tanque:**

Se utilizan como criterio de diseño para las características del tanque el expuesto por (Mijares, 1978) en “Tratamiento de Aguas Residuales” y el Establecido por (Federation, 2012). Calculo del Número de Revoluciones:

Para el cálculo de las revoluciones se utilizará la expresión aplicada al de Reynolds siendo esta la siguiente:

$$NR = (D^2 \times n \times \rho)/m$$

Dónde:

NR = Numero de Reynolds

D = Diámetro del impulsor (cm)

N = Numero de Revoluciones ( $rev/seg$ )

$\rho$  = Densidad del Fluido ( $gr/cm^3$ )

m = Viscosidad Absoluta ( $gr - masa/cm - seg$ )

Se está trabajando en régimen turbulento, NR será de 300.000, además, se tomará  $\rho$  (densidad del fluido) como  $1 \text{ } gr/cm^3$  y la m (viscosidad absoluta) como  $0,9 \times 10^{-2} \text{ } gr - masa/cm - seg$ .

$$n = (m \times NR)/(D^2 \times \rho)$$

$$n = (0,9 \times 10^{-2})(300,000)/(40^2 \times 1)$$

$$n = 1,69 \text{ } rev/seg \times 60 \text{ } seg/(1 \text{ } min)$$

$$n = 103 \text{ } rpm$$

- **Calculo de la Potencia Requerida:**

Para el cálculo de la potencia requerida, se emplea la siguiente expresión

$$P = (K \times p^3 \times n^5 \times Dg)/G$$

$$P = 20 \text{ } HP$$

Dónde:

P = Potencia en ( $gr - cm/seg$ )

$G$  = Aceleración de la gravedad  $cm/m^2$

$K$  = Constante que depende de la forma del impulsor, tamaño y número de Baffles Deflectores.

Con un número de Reynolds de 300.000, el valor de " $K$ " es 2.

#### - **Unidad de Floculación – Sedimentación**

Floculador:

La función de esta unidad es la aglomerar los coloides coagulados, para así aumentar la remoción de sólidos en suspensión, además de otros parámetros contaminantes.

El floculador consiste en un tanque donde se lleva a cabo un mezclado lento, con la finalidad de provocar la formación de los flóculos, facilitando su remoción mediante la sedimentación.

Para el disco de esta unidad, se consideraron los siguientes parámetros:

$C_o$ : Coeficiente de arrastre de las paletas, que depende del Número de Reynolds, la forma y la rugosidad, en la práctica se toma un valor de 1,6.

$V$ : Velocidad real de las paletas: entre  $0,3 - 0,9 \text{ m/seg}$ . Se tomará un valor de  $0,4 \text{ m/seg}$ .

$v$ : Velocidad relativa de las paletas respecto al agua =  $0,75 V = 0,75 \times 0,4 \text{ m/seg} = 0,3 \text{ m/seg}$ ,

A: Áreas de las paletas: ( $m^2$ )

Como primer tanteo se utiliza el criterio de disco de un mezclador rápido,  
4 paletas cuyas dimensiones son:

$$D = \frac{D_t y t}{3} = 0,25D$$

w: Peso del líquido  $1000 \text{ Kg}/m^3$

g: Aceleración de la gravedad =  $9,8 \text{ m}/seg^2$

p: Potencia en  $Kg/lm - seg$

- Diseño de las Dimensiones del Tanque

Tomando un caudal máximo promedio de  $5,5 \text{ L}/seg$ .

Un tiempo de floculación de aproximadamente 30 min. Se tiene que el volumen del tanque será:

$$V = Q \times T$$

$$V = 5,5 \text{ L}/seg \times 30 \text{ min} \times 60 \text{ seg}/min \times 1 \text{ m}^3/1000L = 9,9 \text{ m}^3$$

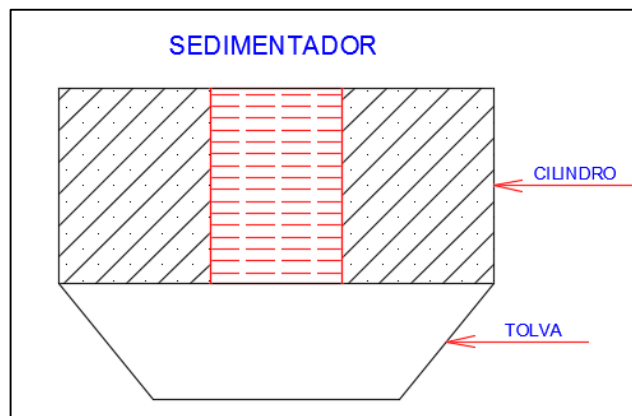
Se tomará una altura de 2 m. Las dimensiones del Tanque serán:

$$\text{Área superficial} = 9,9 \text{ m}^3 / (2m) = 4,95 \text{ m}^2$$

$$- \text{ Diámetro} = \sqrt{4(4,95/\pi)} = 2,51 \text{ m}$$

- **Sedimentador:**

Esta unidad tiene la finalidad de retener los flóculos generados en el proceso de Floculación - Coagulación, estos flóculos sedimentarán por la acción de la gravedad en forma de todos, los cuales serán dispuestos luego en lechos de secado. Ver figura 11.



**Figura 11 Sedimentador**

**Fuente: Mayorga D. 2017**

Cálculo de la Carga Superficial Actual: Esta viene dada por la siguiente expresión:

$$C_s = Q/A_s$$

$$C_s = (0,005 \text{ m}^3/\text{seg} \times 46800 \text{ seg}/\text{día})/(4\text{m}^2)$$

$$C_s = 58,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 - d$$

La W.C.F. propone un rango de 12 a 61  $\text{m}^3/\text{m}^2 - d$ . Siendo un valor calculado aceptable.

Cálculo de la Carga sobre el vertedero.



Esta viene dada por la siguiente expresión:

$$CV = Q$$

Siendo  $L_v$  la longitud de rebose (Vertedero):

$$\text{Longitud de Vertedero} = 2\pi R_t = \pi D \text{ Total}$$

$$L_v = P \times 2,25 \text{ m} = 7,1 \text{ m}$$

$$CV = Q = (4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 46800 \text{ seg}/\text{día}) / (7,1 \text{ m}\phi)$$

$$CV = 29,66 \text{ m}^3/\text{m} - \text{d}$$

El valor de la carga lineal sobre los vertederos sugerido por la W.P.C.F., no debe exceder los 250 m<sup>3</sup> /m-d. El valor calculado está comprendido dentro lo establecido anteriormente.

### c) Tratamiento biológico con sistemas de lagunaje

#### Diseño del sistema de lagunas: anaerobia + facultativa + maduración

Se analizará, en todos los casos con modelo de operación en serie.

##### - Diseño de Laguna Anaerobia

Se considera el gasto medio como el de diseño. Se calcula con la población servida y la aportación.

##### a) Carga Orgánica

La carga orgánica se determina con la siguiente expresión:

$$C.O. = \frac{Q_i DBO_i}{1000}$$

Dónde:

$Q_i$  = Gasto en el influente en ( $m^3 / día$ )

$DBO_5$  = Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada del estanque en (mg/l)

1000 = Factor de conversión

$$C.O. = \frac{450m^3/día (2760 mg/l)}{1000}$$

$$C.O. = 1.242 kg/día$$

b) Carga volumétrica de diseño

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

Dónde:

$\lambda_V$  = Carga orgánica volumétrica ( $g DBO_i/m^3 - día$ )

T = Temperatura mínima mensual del mes más frío ( $^{\circ}C$ )

$$\lambda_V = 20 (20^{\circ}C) - 100 = 300 g DBO_5/m^3 día$$

c) Remoción de la  $DBO_5$

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

La variable T ya fue definida.

$$\%DBO_{removido} = 2(20) + 20 = 60\%$$

El volumen servirá para calcular el tiempo de retención hidráulico.

d) Volumen de la laguna

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

Dónde:

$V_a$  = Volumen en ( $m^3$ )

$L_i$  = Concentración de la materia orgánica en la entrada del estanque en (mg/L)

$Q_i$  = Gasto en el influente en ( $m^3/día$ )

$\lambda_v$  = La variable ya fue definida

$$V_a = \frac{2760 \frac{mg}{l} (450 \frac{m^3}{día})}{300g \text{ DBO}_5/m^3 \text{ día}} = 4.140 m^3$$

Una vez calculado el volumen, se procede a determinar el área de la laguna.

e) Área de la laguna

Profundidad recomendada ( $Z$  = de 2 a 4 metros).

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

Dónde:

$A_a$  = Área de la laguna en ( $m^2$ )

Z = La variable ya fue definida

$$A_a = \frac{4.140 m^3}{4} = 1.035 m^2$$

La acumulación de lodos es generada principalmente por los sólidos suspendidos en lagunas anaerobias y facultativas. Al acumularse por largo periodo de tiempo, se acorta el tiempo de retención hidráulico y se reduce la eficiencia del sistema de tratamiento.

Con el volumen de la laguna y el gasto en el influente, se calcula el tiempo de retención hidráulico.

f) Tiempo medio de retención hidráulico

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

Dónde:

$O_a$  = Tiempo de detención hidráulico (días)

$$O_a = \frac{4.140 m^3}{2760 mg/l} = 1.5 \text{ días}$$

El valor de la  $DBO_5$  en la salida de la laguna anaerobia permitirá conocer la eficiencia del tratamiento.

g) Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna

$$DBO_e = (100 - \%DBO_{removido})DBO_i$$

Dónde:

$DBO_e$  = Concentración de la materia orgánica en el efluente en (mg/l)

$$DBO_e = \left( \frac{100 - 60}{100} \right) 2760 = 1.104 \text{ mg/L}$$

Para calcular el gasto en la salida de la laguna anaerobia, se debe contar previamente con el dato estadístico de la evaporación.

h) Gasto en el efluente corregido por evaporación

$$Q_e = Q_i - 0.001 A_a ev$$

Dónde:

$Q_e$  = Gasto en la salida del estanque ( $m^3/día$ )

$ev$  = Evaporación en (mm/día)

$$Q_e = 450 - (0.001 \times 1.035 \times 5.8)$$

$$Q_e = 450 - (6,003) = 443.99 \approx 444 \text{ m}^3/día$$

i) Remoción de coliformes fecales. Factor de decaimiento.

$$Kt(d^{-1}) = 2.6 (1.19)^{T-20}$$

Dónde:

$Kt(d^{-1})$  = Constante global de decaimiento en ( $d^{-1}$ )

$$Kt(d^{-1}) = 2.6 (1.19)^{20-20}$$

$$Kt(d^{-1}) = 2.6 (1)$$

$$Kt(d^{-1}) = 2.6 d^{-1}$$

Coliformes fecales en el efluente de la laguna.

$$N_e = \frac{N_i}{1 + KtOa}$$

Dónde:

$N_e$  = Coliformes fecales en la salida del estanque en (NMP/100 mL)

$N_i$  = Coliformes fecales en la entrada del estanque en (NMP/100 mL)

$$N_e = \frac{N_i}{1 + KtOa} = \frac{(1 \times 10^7)}{1 + (2.6 \times 1.5)} = \frac{(1 \times 10^7)}{4.9}$$

$$N_e = 2'040.816 \text{ NMP/100mL}$$

j) Cálculo de la materia orgánica incluyendo la evaporación

$$DBO_{corr} = \frac{DBO_e Q_i}{Q_e}$$

$$DBO_{corr} = \frac{1.104(450)}{444} = 1.118,91 \text{ mg/L}$$

k) Coliformes fecales corregidos por evaporación

$$N_{e\ corr} = \frac{N_e Q_i}{Q_e}$$

$$N_{e\ corr} = \frac{2'040.816\ NMP/100mL\ (450)}{444}$$

$$= 2'068.394,59\ NMP/100mL$$

A continuación, el cálculo de las dimensiones promedio de la laguna: ancho y longitud.

l) Dimensionamiento de la laguna.

Se considera una relación largo-ancho  $x=2$

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

$$B_{prom} = \sqrt{1035/2} = 22.75\ m \approx 23m$$

Dónde:

$B_{prom}$  = Ancho promedio de la laguna en (m)

Para la longitud promedio se tiene:

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

$$L_{prom} = \frac{1035\ m^2}{23\ m} = 45\ m$$

Dónde:

$L_{prom}$  = longitud promedio del estanque anaerobio en (m)

- Diseño de Laguna Facultativa (Método de flujo disperso)

Para el diseño del estanque facultativo se consideran los resultados de la laguna anaerobia: evaporación,  $DBO_5$  en la salida del estanque, coliformes fecales, gasto en el efluente y temperatura.

Gasto en el efluente:  $450 \text{ m}^3/\text{día}$

$DBO_5$  en el efluente: 1104 mg/L

Coliformes fecales: 2'068.394,59 NMP/100mL

Temperatura: 20°C

Evaporación: 5.8 mm/día

Como se observa, los resultados de la laguna anaerobia son los datos de entrada para el cálculo de la laguna facultativa.

- a) Carga orgánica

Se aplica la siguiente ecuación:

$$C.O. = \frac{Q_i DBO_i}{1000}$$

$$C.O. = \frac{450 (2760)}{1000} = 1.242 \text{ kg/día}$$

- b) Carga superficial de diseño

Determinada por la expresión:

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

Dónde:



$\lambda_s$  = Carga orgánica superficial, ( $kgDBO_5/ha * día$ )

T = Temperatura media mensual mínima del aire ( $^{\circ}C$ )

$$\lambda_s = 250 (1.085)^{20-20} = 250 \text{ kgDBO}_5/\text{ha} * \text{día}$$

c) Área de la laguna facultativa (área promedio)

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

Dónde:

$L_i$  =  $DBO_5$  corregida por evaporación de laguna anaerobia ( $mg/L$ )

$A_f$  = Área del estanque facultativo en ( $m^2$ )

$Q_{med}$  = En este caso considerar  $Q_{med} = Q_i$  ( $m^3/día$ )

$$A_f = \frac{1118.91(444)}{250} = 1.987 \text{ m}^2$$

Una vez determinada el área de la laguna facultativa y definida la profundidad, se procede a calcular el volumen.

d) Volumen de la laguna con  $Z = 2m$

$$V = A_f Z$$

Dónde:

V = Volumen en  $m^3$

Z = Profundidad del estanque, se considera 2m.

$$V = 1.987 \text{ m}^2(2\text{m}) = 3.974 \text{ m}^3$$

e) Tiempo de retención hidráulico

Considerando la expresión del estanque anaerobio, tenemos:

$$O_f = \frac{V}{Q_i}$$

$$O_f = \frac{3.974 \text{ m}^3}{450} = 8.8 \text{ días}$$

f) Dimensionamiento. Relación largo-ancho  $x= 3$  para minimizar cortocircuitos.

Con el propósito de evitar, hasta donde sea posible las zonas muertas, se sugiere una relación largo-ancho de 3.

$$B_{prom} = \sqrt{Af/x}$$

$$B_{prom} = \sqrt{1987/3} = 25.7 \text{ m}$$

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

$$L_{prom} = \frac{1987 \text{ m}^2}{25.7 \text{ m}} = 77.32 \text{ m}$$

g) Cálculo del área superficial, ancho y largo inferior.

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

$$A_{sup} = 25.7 \text{ m} \times 77.32 \text{ m} = 1987 \text{ m}^2$$

h) Gasto en el efluente corregido por evaporación.

$$Q_e = Q_i - 0.001 A_s ev$$

$$Q_e = 450 - (0.001 \times 1987 \times 5.8) = 438.48 \text{ m}^3/\text{día}$$

i) Remoción de coliformes fecales. Coeficiente de dispersión: la ecuación incluye la relación largo ancho (x).

Para ello, se emplea la relación. Por lo que se tiene:

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

$$x = \frac{77.32 \text{ m}}{25.7 \text{ m}} = 3\text{m}$$

Coeficiente de dispersión

$$d = \frac{x}{-0.26118 + 0.25392x + 1.0136x^2}$$

Dónde:

d= Factor de dispersión adimensional

x= Relación largo ancho

$$d = \frac{3}{-0.26118 + 0.25392(3) + 1.0136(3)^2}$$

$$d = 0.3118$$

j) Coeficiente de reducción bacteriana

$$Kb = 0.841 (1.075)^{T-20}$$

$Kb$ = Coeficiente de decaimiento bacteriano  $(día)^{-1}$

$$Kb = 0.841 (1.075)^{20-20}$$

$$Kb = 0.841 d^{-1}$$

k) Constante “a”

$$a = \sqrt{1 + 4K_b O_f d}$$

Dónde:

$a$ = Constante sin dimensiones

$O_f$ = Tiempo de retención hidráulico (días)

$$a = \sqrt{1 + (4 \times 0.841 \times 8.8 \times 0.3118)}$$

$$a = 3.20$$

l) Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4ae^{(1-a/2d)}}{(1+a)^2}$$

Dónde:

$\frac{N_f}{N_o}$ = Coeficiente de coliformes fecales remanentes en el efluente.

$$e = 2.7182818$$

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 \times 3.20 \times e^{(1-3.20/2(0.3118))}}{(1 + 3.20)^2} = 0.02126077$$

Al multiplicar por los coliformes fecales en el influente  $N_i$  se tiene:

$$N_e = 0.02126077 \times 2'068.394,59$$

$$N_e = 43.975,66 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$$

m) Coliformes fecales corregidos por evaporación

$$N_{e \text{ corr}} = \frac{N_e Q_i}{Q_e}$$

$$N_{e \text{ corr}} = \frac{(43975,66)(450)}{444} = 44.569,93 \text{ NMP}/100\text{mL}$$

n) Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna y constante para lagunas facultativas.

Este parámetro se analizó en el laboratorio a 35°C. El resultado fue  $K_f = 1.2 \text{ día}^{-1}$

La siguiente expresión determina el factor  $K_f$  para diferentes temperaturas.

$$K_f = \frac{1.2}{(1.085)^{35-T}}$$

Dónde:

$K_f$  = Constante de decaimiento a una temperatura en cualquiera ( $\text{día}^{-1}$ )

$$K_f = \frac{1.2}{(1.085)^{35-20}}$$

$$K_f = 0,3529 \text{ d}^{-1}$$

Concentración de la materia orgánica en la salida del estanque.

Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la laguna.

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{K_f O_f + 1}$$

$$DBO_e = \frac{2760}{(0,3529 \times 8.8) + 1} = 672,26 \text{ mg/L}$$

o) Eficiencia de remoción de la  $DBO_e$

$$\% = \frac{(DBO_i - DBO_e)}{DBO_i} \times 100$$

$$\% = \frac{2760 - 672,26}{2760} \times 100 = 75.64\%$$

p) DBO corregida por evaporación

$$DBO_{corr} = \frac{Q_i DBO_e}{Q_e}$$

$$DBO_{corr} = \frac{450 \times 672,26}{444} = 681,34 \text{ mg/L}$$

#### - **Diseño de la laguna de Maduración**

Primero se propone un tiempo de retención, luego se revisan los coliformes fecales corregidos por evaporación y la materia orgánica. Estos

deben cumplir con los límites máximos permitidos por la normatividad para descarga a los cuerpos receptores.

1) Volumen de la laguna

$$V = Q_i O_m$$

$$V = 444(10) = 4440 \text{ m}^3$$

2) Área de la laguna con  $Z= 2\text{m}$

$$Am = \frac{V}{Z}$$

$$Am = \frac{4440}{2} = 2220 \text{ m}^2$$

3) Dimensionamiento. Se considera un ancho promedio ( $B_{prom}$ ), igual que el estanque facultativo para ahorrar costos de construcción.

$$B_{prom} = 25.7 \text{ m}$$

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}} = \frac{2220}{25.7} = 86.38 \text{ m}$$

4) Cálculo del área superficial, ancho y largo inferior.

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

$$A_{sup} = 25.7 \text{ m} (86.38) = 2.219,96 \text{ m}^2$$

5) Gasto en el efluente corregido por evaporación

$$Q_e = Q_i - 0,001 A_{sup} ev$$

$$Q_e = 444 - (0,001 \times 2.219,96 \times 5.8)$$

$$Q_e = 431,13 \text{ m}^3/\text{día}$$

- 6) Remoción de coliformes fecales. Coeficiente de dispersión: la ecuación incluye la relación largo ancho (x).

Sin considerar mamparas, se tiene:

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

$$x = \frac{86,38}{25.7} = 3.36$$

Coeficiente de dispersión

$$d = \frac{x}{-0.26118 + 0.25392x + 1.0136x^2}$$

$$d = \frac{3.36}{-0.26118 + 0.25392(3.36) + 1.0136(3.36)^2}$$

$$d = 0.2792$$

- 7) Coeficiente de reducción bacteriana

$$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$$

$$K_b = 0.841(1.075)^{20-20}$$

$$K_b = 0.841d^{-1}$$

- 8) Constante "a"

$$a = \sqrt{1 + 4K_b O_{m1} d}$$

$$a = \sqrt{1 + (4 \times 0.841 \times 10 \times 0.2792)} = 3.2237 \text{ Adimensional}$$

- 9) Coliformes fecales en el efluente de la laguna de maduración.

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4ae^{(1-a/2d)}}{(1+a)^2}$$

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 \times 3.2237 \times e^{(1-3.2237/2(0.2792))}}{(1+3.2237)^2} = 0,01342799$$

Al multiplicar por los coliformes fecales en el influente  $N_i$ , se tiene:



$$N_e = 0.01342799 \times 44.569,93 = 598,48 \text{ NMP}/100\text{mL}$$

10) Coliformes fecales corregidos por evaporación

$$N_{e \text{ corr}} = \frac{N_e Q_i}{Q_e}$$

$$N_{e \text{ corr}} = \frac{598,48 \times 444}{431,13} = 616,34 \text{ NMP}/100\text{mL}$$

11) Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna y la constante

$K_f$ ;

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1,085)^{35-T}}$$

$$K_f = \frac{1,2}{(1,085)^{35-20}} = 0,3530 \text{ d}^{-1}$$

Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la laguna.

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{K_f O_{m1} + 1}$$

$$DBO_e = \frac{681,34}{(0,3530 \times 10) + 1} = 150,41 \text{ mg/L}$$

12) Eficiencia de remoción de  $DBO_5$ a

$$\% = \frac{DBO_i - DBO_e}{DBO_i} \times 100$$

$$\% = \frac{681,34 - 150,41}{681,34} \times 100 = 77.92\%$$

13)  $DBO_5$  corregida por evaporación

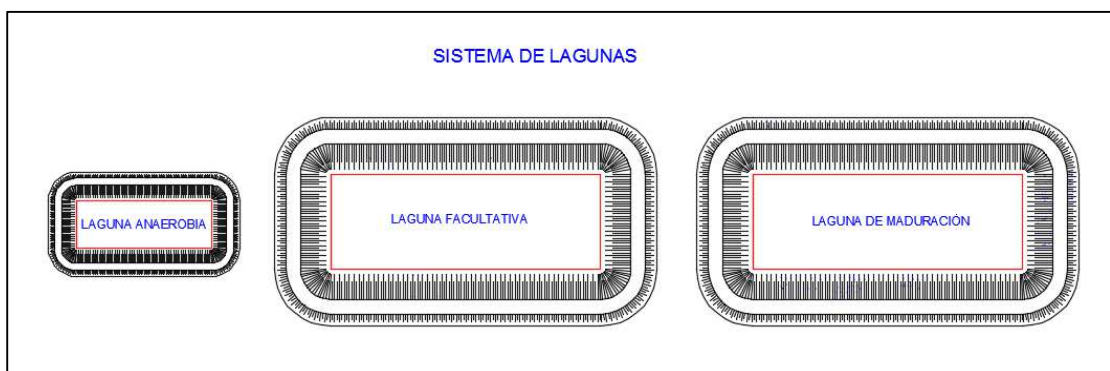
$$DBO_{\text{corr}} = \frac{Q_i DBO_e}{Q_e}$$

$$DBO_{corr} = \frac{438,48 \times 150,41}{431,13} = 152,97 \text{ mg/L}$$

Según (Middlebrooks, 1988), los diferentes modelos para el diseño de lagunas de estabilización que actualmente se aplican son difíciles de comparar debido a sus limitaciones. No, obstante los citados autores indican que todos los modelos se pueden aplicar a cualquier región, pero es necesario que se reúnan las condiciones climáticas adecuadas. Lo importante en el modelo es considerar una carga orgánica y un tiempo de retención. Una última recomendación: evitar los cortos circuitos hidráulicos y zonas muertas dentro del estanque.

Otras consideraciones importantes en el diseño de las lagunas de estabilización, son los tipos de sistema: en serie y en paralelo.

La presente propuesta está diseñada con un sistema de tratamiento en serie donde se incluye una laguna anaerobia, más una facultativa y otra de maduración, este tipo de sistemas presentan una economía de área total. Ver figura 12.



**Figura 12 Sistema de lagunas**

**Fuente: Mayorga D. 2017**

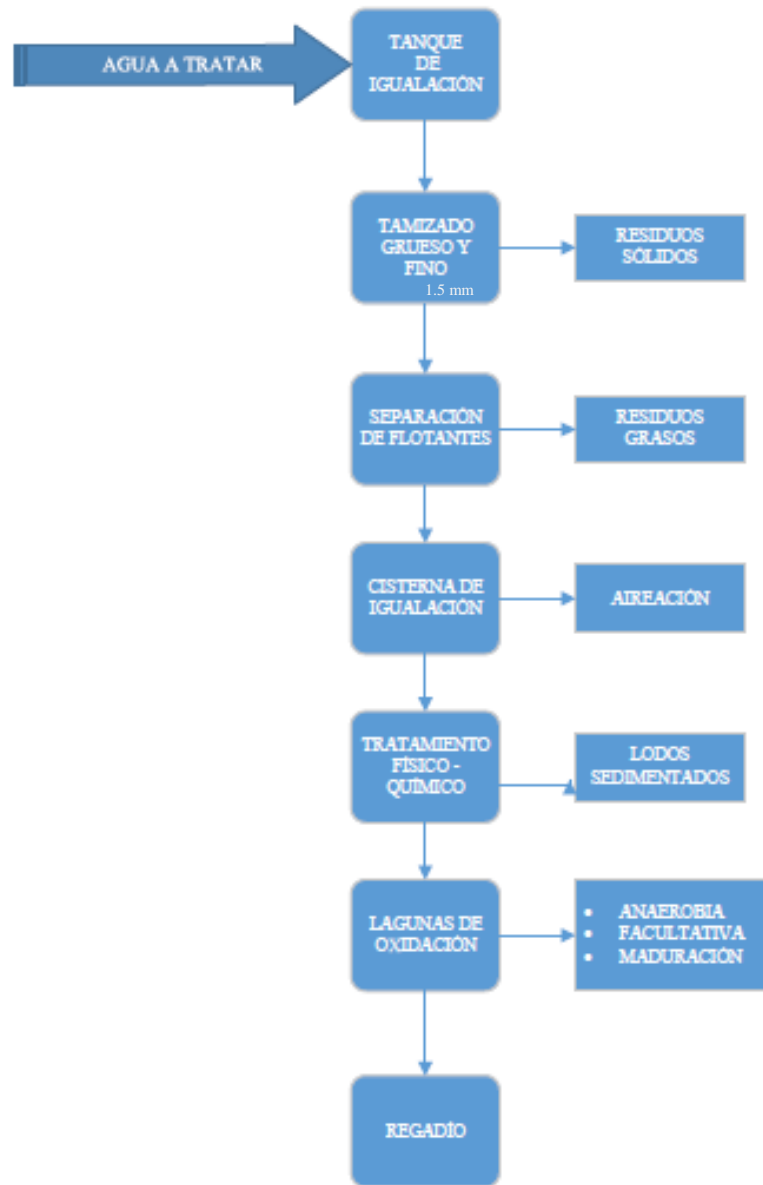
Por otro lado los sistemas en paralelo no incrementan la calidad en el tratamiento.

### **6.7.3. ESQUEMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Una vez determinada las capacidades en cada una de las fases del proceso de tratamiento, se establece la siguiente esquematización de la propuesta de diseño para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Ver figura 13.

**Figura 133 Propuesta de Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

## PROPUESTA DE DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Elaborado por: Mayorga D. 2017

## **6.8. DESCRIPCIÓN DE LOS BENEFICIARIOS**

De acuerdo al diseño propuesto, con un tratamiento adecuado y eficiente se conseguirá un tipo de agua dentro de parámetros en cumplimiento con la normativa legal y apta para uso en regadío, siendo el beneficiario directo la empresa ASISERVY S. A. Debido a las características que tendría el agua generada una vez sometida al tratamiento, es idónea para regadío en cultivos de tipo asociativo (moringa, neem y maracuyá) existentes en la finca propiedad del dueño que no han sido productivos debido a la calidad del agua utilizada actualmente.

Considerando lo expuesto, la empresa como tal no tendría problemas legales ni medio ambientales con entidades gubernamentales, evitando la contaminación al Medio Ambiente, trabajando y realizando la actividad industrial de una manera responsable y amigable con nuestro entorno.

## **6.9. PLAN DE ACCIÓN**

El plan de acción se desarrollará en dos etapas, las mismas que comprenden el tratamiento físico – químico con un plazo de ejecución de 90 días y el tratamiento biológico de las aguas residuales en un plazo de 60 días. La etapa 1 del proyecto ya fue ejecutada.

## 6.10. ADMINISTRACIÓN

**Tabla 19 Cuadro de responsabilidades de la propuesta**

<b>ACTOR</b>	<b>ROL</b>
<b>Presidencia (Eco. Gustavo Núñez Marquéz)</b>	Patrocinador de la propuesta
<b>Gerencia General (Lcdo. Juan Francisco Núñez)</b>	Seguimiento y control de la propuesta
<b>Gerente de Proyectos (Ing. Daniel Mayorga)</b>	Desarrollo y ejecución del proyecto
<b>Equipo de proyectos (QBlg. Mónica Cortéz, Ing. Joffre Yépez)</b>	Ejecutores y soporte del proyecto

**Fuente: Asiservy S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. 2017**

## 6.11. FINANCIAMIENTO

La planta ejecutó la primera etapa del proyecto, que comprende la instalación de bombas sumergibles que se emplean para el bombeo de agua cruda, un tamiz estático vertical para la remoción de sólidos suspendidos de un tamaño superior a 1,5 mm de espesor, con capacidad para tratar el caudal de diseño (450 metros cúbicos por día), un equipo de separación de grasas y aceites flotantes con una capacidad neta de tratamiento de 40 metros cúbicos por hora, y un soplador para homogenizar las aguas previo al bombeo al tamiz.

La segunda etapa contemplará la instalación de un equipo de flotación por aire micro disuelto, con una capacidad neta de tratamiento de hasta 40 metros cúbicos por hora de operación, integrado a su vez por un circuito de dosificación

de polímeros y homogenización en línea, permitiendo que su mecanismo temporizado de arrastre de lodos flotados, campana inferior de recolección de lodos sedimentados, sistema de inyección y saturación de aire micro disuelto y línea de recolección de agua clarificada realicen su función. Además un equipo de soplado que se ubicará en el tanque de recepción posterior al tratamiento físico – químico para igualación del agua a tratar. Finalmente un tablero de control general y protección térmica de todos los equipos mencionados y su interconexión eléctrica a cada uno de ellos. (Ver anexo 6) Esta etapa del proyecto será financiada por ASISERVY S.A, bajo los siguientes términos propuestos por la empresa contratista CHEMequip: (Ver Anexo 7)

### **TÉRMINOS DE PAGO PROPUESTOS**

A la firma del contrato, contra presentación de garantías	40%
A 30 días de la firma del contrato, contra informe de avance de obras	20%
A 60 días de la firma del contrato, contra informe de avance de obras	20%
A 90 días de la firma del contrato, contra informe de avance de obras	15%
Luego de las pruebas de operación de todos los equipos	5%

Las obras civiles serán a cargo de ASISERVY S.A y apoyo de la planta CHEMequip industrias Cía. Ltda.

En la tercera y última etapa del proyecto se realizará la optimización del sistema de lagunaje con un área disponible de 5242 metros cuadrados (Ver anexo

8). Donde se eliminará la cuarta piscina utilizada para reservorio gracias a la aplicación previa del tratamiento físico – químico, con financiamiento propio de la planta dentro de un plazo estimado de ejecución de 60 días hasta su estabilización.

## 6.12. PRESUPUESTO

Cada una de las etapas requiere su presupuesto distribuido de la siguiente manera:

**Tabla 20 Costos del proyecto de inversión**

<b>ETAPA</b>	<b>COSTO</b>
<b>Etapas 2.-</b>	
- Equipos requeridos para el tratamiento físico – químico	<b>\$ 168.830</b>
- Costos de instalación y puesta en marcha	<b>\$ 2.500</b> <b>\$ 1.500</b>
- Costo de pruebas y ajustes	<b>\$ 22.351</b>
- Obra civil	
<b>Etapas 3.-</b>	
- Adecuación del perímetro de las lagunas	<b>\$ 6.820</b>
- Sistema de bombeo para regadío	<b>\$ 5.000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 207.001</b>

**Fuente: Asiservy S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. 2017**

## 6.13. EVALUACIÓN

La evaluación del proyecto se realizó mediante el análisis de los ahorros y beneficios que se derivan de la ejecución del proyecto.



El incumplimiento ambiental conlleva desde multas económicas y sanciones hasta el cierre de la planta, llegando a generar pérdidas económicas considerables que se evitarán con la implementación del sistema de tratamiento propuesto. Uno de los beneficios adquiridos será el aprovechamiento del agua para regadío en cultivos de tipo asociativo.

**Tabla 21 Cálculo de Retorno de la Inversión del proyecto**

<b>INVERSIÓN</b>		
Costo Etapa 1	\$	195.181
Costo Etapa 2	\$	11.820
Total Inversión	\$	<b>207.001</b>
Multas y sanciones	\$	40.000
Costo de agua para regadío	\$	73.920
	\$	<b>113.920</b>
<b>Retorno de la inversión</b>		<b>1,82</b>

**Fuente: Asiservy S.A**

**Elaborado por: Mayorga D. 2017**

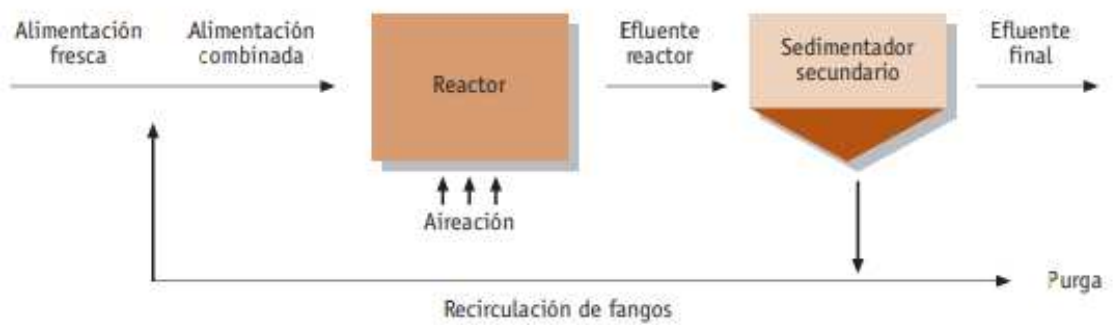
## BIBLIOGRAFÍA

- Arce A., C. C. (2001). *Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales*. México DF.: Instituto Mexicano de Tecnología del agua.
- Arnáiz, C. (2013). *Reutilización de Aguas Residuales. Aplicación al riego de campos de Golf*. Andalucía.
- Díaz, J. R. (2016). *Diseño de un Sistema de Tratamiento y Reutilización del Agua de la Lavadora Aplicado a los Hogares de Bogotá*. Bogotá.
- Federation, .. W. (2012). *Journal (Water Pollution Control Federation)*.
- Fernández, A. L. (2006). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. Madrid: CEIM Dirección General de Universidades e Investigación.
- Freire, .. E. (2012). *Análisis y Evaluación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Empresa Teinmsa Ambato*. Riobamba.
- Fyndecol. (21 de Octubre de 2017). *Fibras & Normas de Colombia. Ingeniería en Aguas*. Obtenido de <https://tratamientodeagua.co/aguas-residuales/tipos-tratamiento-aguas-residuales/>
- Hernández, H. E. (07 de Abril de 2016). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/edgarhernandez331/filosofa-del-agua>
- López, D. A. (2014). *Proyecto de Planta de Aguas Residuales empleando un proceso de tipo biológico-anaerobio, en la Población de Naiguatá, Estado Vargas*. Caracas.
- Mijares, G. (1978). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Vega.
- Milddlebrooks, E. J. (1988). *Natural Sys- tems for Waste Management and Treatment*. En M. Graw-Hill. USA.
- Morales, .. N. (2009). *Evaluación del crecimiento inicial de cuatro especies forestales (Azadirachta indica, Ziziphus thyrsoiflora, Prosopis juliflora, Leucaena leucocephala) regadas con agua residual de las lagunas de oxidación de los cantones de Santa Elena y La Libertad*. Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10326/1/D-42198.pdf>

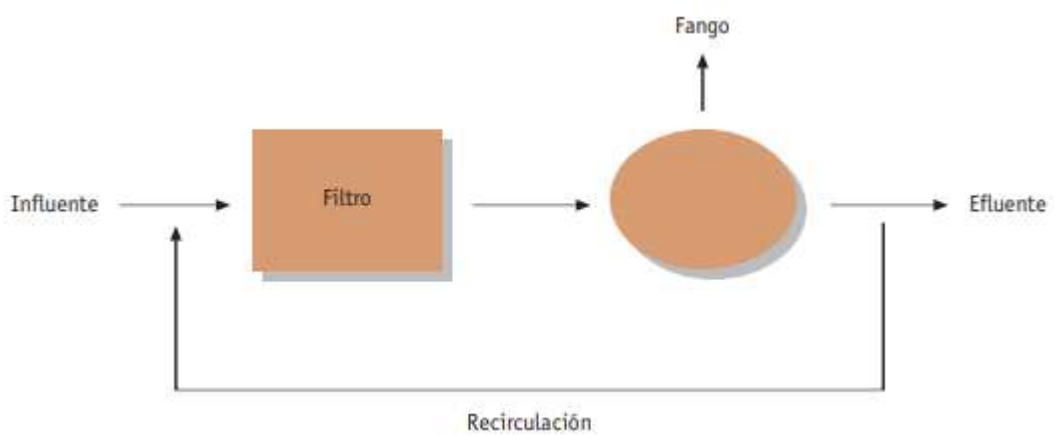
- Pérez, J. (2003). *Depuración y Reutilización de Aguas Residuales para Riego*. España: Estación Experimental de Cajamar "Las Palmerillas".
- Pesquero, P. (2016). Atún tailandes quebraría industria atunera de Ecuador. *Perú Pesquero*.
- Portales, R. (25 de Noviembre de 2011). Agua y Medio Ambiente.
- Rodier, J. (2010). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona.
- Ronquillo, R. (2016). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para ser utilizada en el Riego del Parque Samanes*. Guayaquil.
- Tipantaxi, L. (2010). *Estudio Técnico para la Implementación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa "Lavamodas Jeans Lamoje Cía Ltda" para mejorar la calidad de agua que descarga a la red de alcantarillado*. Ambato.
- Unesco. (2016). *Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. París.
- Valencia, .. A. (2013). *Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo*. Riobamba.
- Winpenny, J. H. (2013). *Reutilización del Agua en la Agricultura: ¿Beneficio para todos?* Roma: Oficina Regional de la FAO para América Latina.

## ANEXOS

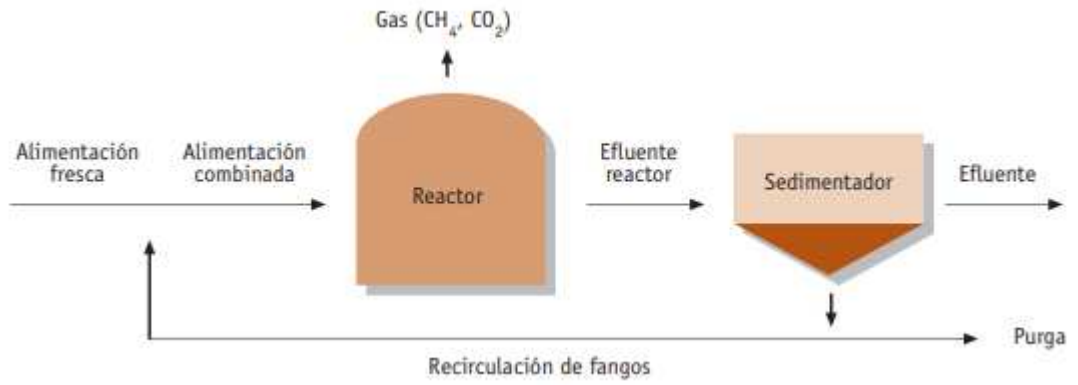
### Anexo 1 Proceso de fangos activados



### Anexo 2 Diagrama de operación típico de un filtro percolador



### Anexo 3 Reactor anaerobio de contacto



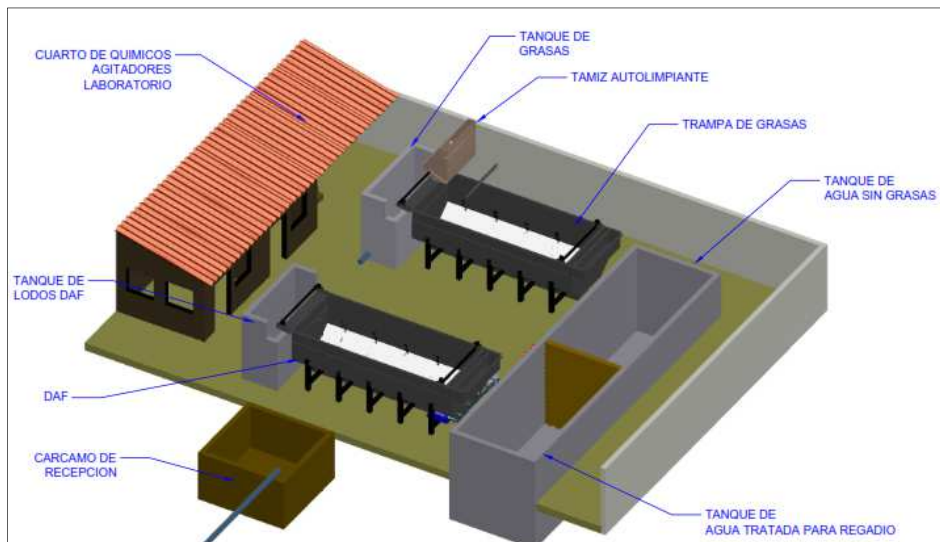
### Anexo 4 Saneamiento Convencional: Linear e insostenible



## Anexo 5 Saneamiento Ecológico: Circular y sostenible



## Anexo 6 Tratamiento físico - químico



## Anexo 7 Presupuesto de inversión de Etapa 2

### LISTADO DE PRECIOS DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA:

• Un tamiz estático vertical, para remoción de sólidos suspendidos de tamaño superior a 1,5 mm de espesor, con capacidad para tratar hasta 360 gpm. Incluye dos bombas de alimentación, sumergibles, de accionamiento automático por control de niveles en sistemas de igualación y descarga.	\$ 15,840,00
• Un equipo de separación de grasas y flotantes, con una capacidad neta de tratamiento de hasta 50 metros cúbicos por hora de operación, integrado a su vez por: 2 bombas de alimentación de agua desde la sistema de recepción de agua del tamiz rotatorio; tanque de flotación; válvulas de purga de sedimentos pesados; mecanismo temporizado de arrastre de lodos flotados; campana inferior de recolección de lodos sedimentados, línea de recolección de agua clarificada. Tanque de sedimentación construido en acero inoxidable 304.	\$ 49,700,00
• Un equipo de flotación por aire micro disuelto, con una capacidad neta de tratamiento de hasta 50 metros cúbicos por hora de operación, integrado a su vez por: 2 bombas de alimentación de agua desde la sistema de equalización; circuito de dosificación de polímeros y homogenización en línea; 3 bombas de dosificación de productos químicos; válvulas de control de presión y manómetros; tanque de sedimentación; válvulas de purga de sedimentos pesados; mecanismo temporizado de arrastre de lodos flotados; campana inferior de recolección de lodos sedimentados, sistema de inyección y saturación de aire micro disuelto, línea de recolección de agua clarificada. Tanque de sedimentación construido en acero inoxidable 304.	\$ 199,900,00
• Un tablero de control general y protección térmica de todos los equipos incluidos en esta parte del proceso, y su interconexión eléctrica a cada uno de ellos.	\$ 4,950,00
• Equipos de soplado a ubicarse en tanque de recepción e igualación, 2 sopladores HRB 400, 1 para cada uno de los tanques	\$ 3,980,00
• Gastos de transporte, instalación, montaje, puesta en marcha, ajustes, manuales de operación, pruebas iniciales, análisis comprobatorios, etc.	\$ 2,500,00
• Costos de garantías, montaje, instalación, ajustes, así como análisis iniciales y finales de comprobación de operación de la planta.	\$ 1,200,00
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>\$ 230,450,00</b>
<b>IVA:</b>	<b>No incluido</b>

### OBRAS CIVILES:

A cargo de ASISERVI con la supervisión y apoyo de CHEMequip Industrias Cia. Ltda.

### TÉRMINOS DE PAGO PROPUESTOS:

- A la firma del contrato, contra presentación de garantías: 40%
- A 30 días de la firma del contrato, contra informe de avance de obras 20%
- A 60 días de la firma del contrato, contra informe de avance de obras 20%
- A 90 días de la firma del contrato, contra informe de avance de obras 15%
- Luego de pruebas de operación de todos los equipos : 5%

### Anexo 8 Área destinada para el Sistema de lagunaje



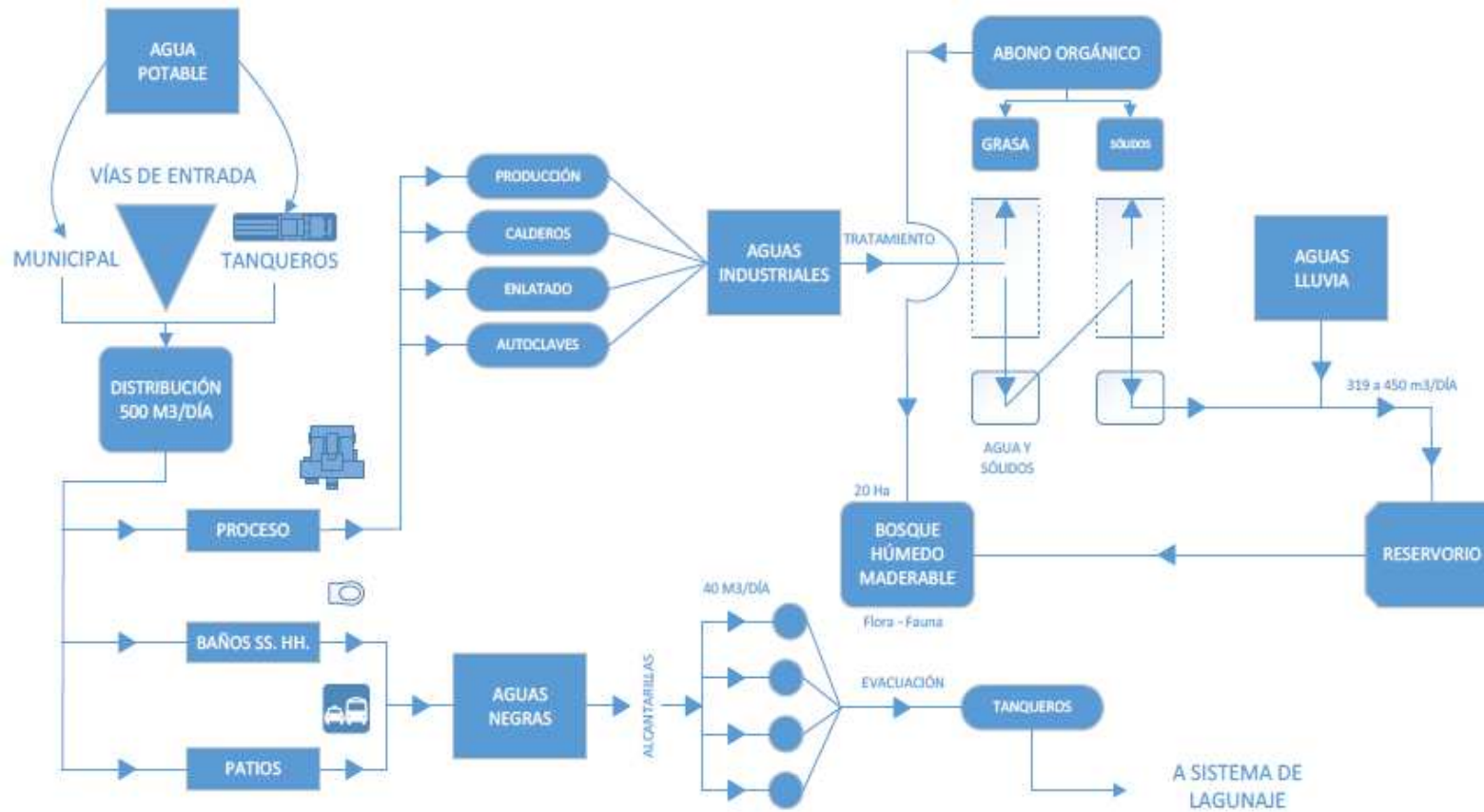
---

<b>P</b>	<b>Coordenadas UTM</b>
<b>1</b>	<b>17M 538213,54m E 9891671,22m S</b>
<b>2</b>	<b>17M 538050,81m E 9891675,85m S</b>
<b>3</b>	<b>17M 538062,60m E 9891797,84m S</b>
<b>4</b>	<b>17M 538135,95m E 9891787,41m S</b>
<b>5</b>	<b>17M 538198,18m E 9891743,86m S</b>

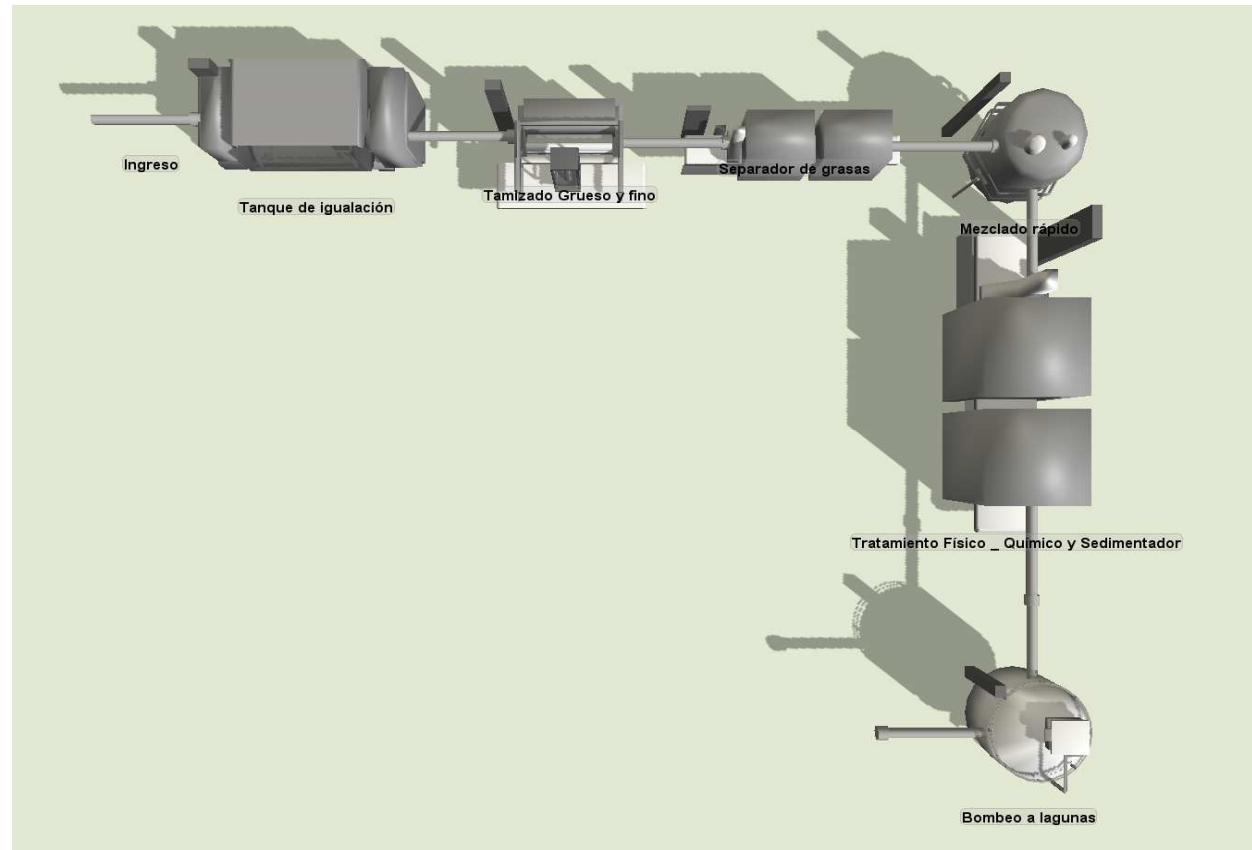
---



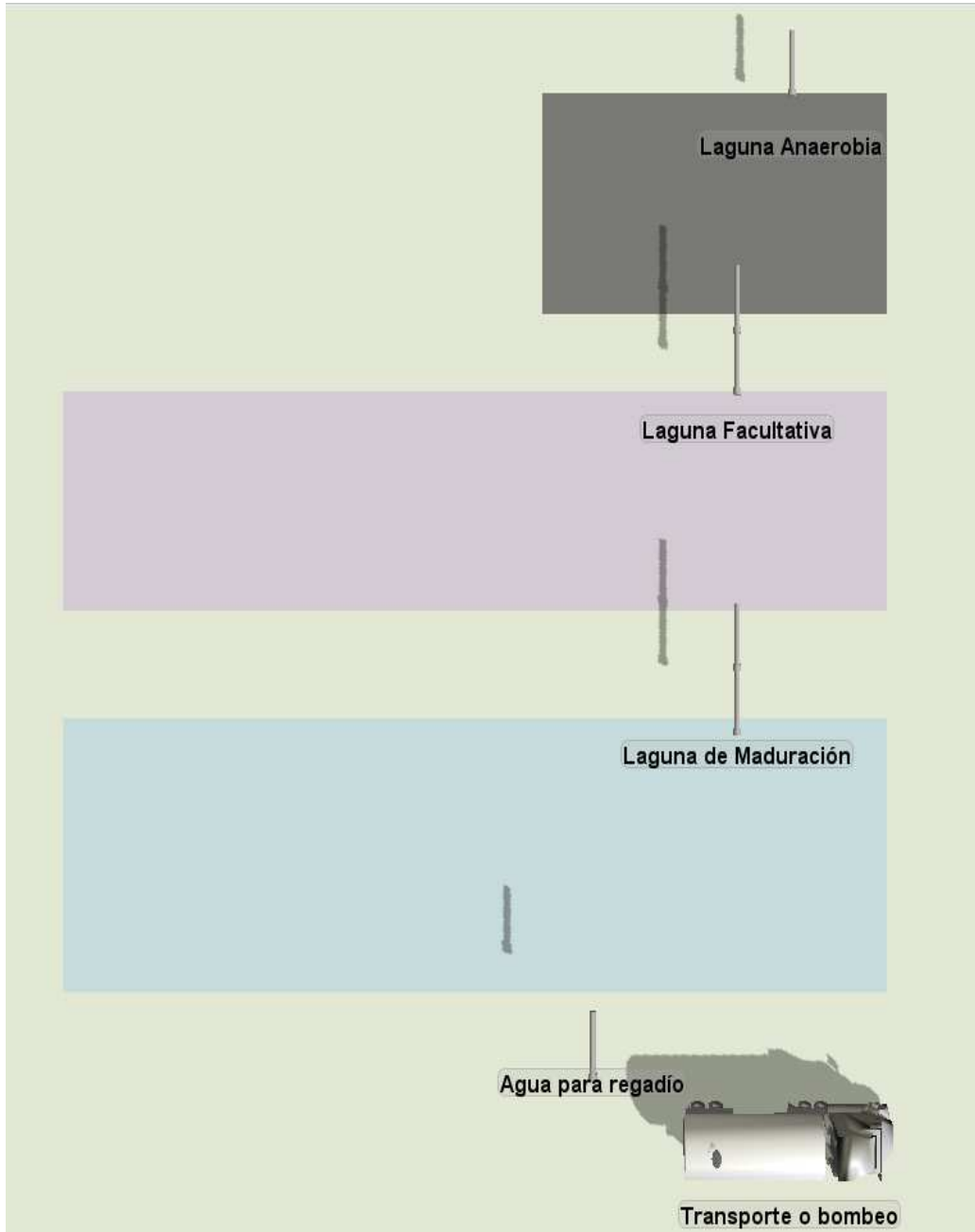
### Anexo 9 Flujo General del Uso y Gestión de las Aguas Residuales



## Anexo 10 Esquema del Tratamiento preliminar y Físico – Químico



**Anexo 11** Esquema del Tratamiento Biológico con sistema de lagunaje



## Anexo 12 Esquema del Tratamiento de Aguas Residuales

