

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO  
DEPARTAMENTO DE AHUACHAPÁN**

PRESENTADO POR:

CESIA ABIGAIL HENRIQUEZ RUBIO  
BYRON ALEXANDER GONZÁLEZ CORTEZ  
JOSÉ ABNER HERNÁNDEZ JACOBO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2021.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

DIRECTORA:

**INGA. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Título:

**PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO  
DEPARTAMENTO DE AHUACHAPÁN.**

Presentado por:

**CESIA ABIGAIL HENRIQUEZ RUBIO  
BYRON ALEXANDER GONZÁLEZ CORTEZ  
JOSÉ ABNER HERNÁNDEZ JACOBO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JUAN RODOLFO RAMÍREZ GUZMÁN**

San Salvador, marzo 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

---

**ING. JUAN RODOLFO RAMÍREZ GUZMÁN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primeramente a Dios Todopoderoso por acompañarnos en este camino a alcanzar nuestras metas, quien nos ha dado la sabiduría, la fuerza y salud para llegar a este momento.

A nuestras familias por su amor, comprensión, consejos y esfuerzo al apoyarnos, han sido un pilar fundamental para alcanzar este éxito.

A nuestro Tutor el Ingeniero Juan Ramírez, por su ayuda incondicional, su conocimiento transmitido y por todo el asesoramiento.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos de la Universidad de El Salvador, por todo el conocimiento transmitido en el transcurso a alcanzar nuestras metas.

Al Ing. David Serrano por su valioso aporte y a todas aquellas personas que hicieron posible este trabajo de graduación.

A Baudilio Henríquez y a la Alcaldía Municipal de San Lorenzo por su colaboración en el desarrollo de la presente investigación.

## DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a Dios porque su amor y su misericordia siempre están conmigo, por darme sabiduría en situaciones difíciles y por permitirme llegar a este momento.

También dedico mi sacrificio y esfuerzo a mis abuelos: Adrián Rubio y Luz María Henríquez, porque su esfuerzo, sus oraciones y sabios consejos siempre han alumbrado mi camino.

A mi madre Elba Yanira Henríquez, por todo el sacrificio realizado, por siempre dar lo mejor para que yo pudiera alcanzar mi meta, sin su ayuda nada de esto hubiese sido posible.

A Gabriela Rubio y Oscar Rubio, porque son mi motivación para superarme y poder ser su ejemplo a seguir.

A mis tíos Yesica, Sara, Dalila y José Rubio por siempre brindarme su apoyo incondicional. Especialmente a mi tía Rosalba Rubio, le agradezco mucho por siempre pensar en mí aun en sus momentos difíciles y mostrarme su amor y su apoyo incondicional, sé que Dios la recompensará.

A Othoniel Martínez por todo su amor y apoyo, por siempre creer en mí y motivarme a alcanzar mis sueños.

A todos mis amigos, primos y demás familia, porque también han sido parte de esta victoria.

Por último, Agradezco a todos los docentes que invirtieron en mi formación y que han sido una inspiración.

***Cesia Abigail Henríquez Rubio***

## DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme concluir con éxito este proyecto y alcanzar esta etapa en mi vida.

A mi abuela Margot Osorio que me ha acompañado durante todo mi camino, en los momentos buenos y en los momentos de dificultades, brindándome su apoyo y sabios consejos, por haberme inculcado buenos principios.

A mis padres Jorge Alberto González y Gloria Elizabeth Cortez por todo su apoyo incondicional.

A mis compañeros, docentes y amigos que intervinieron en mi formación ya que sin ellos no hubiera sido posible alcanzar esta meta trazada.

Al Ing. Mauricio Córdova por el apoyo brindado y cada una de las personas que de una u otra forma colaboraron para que pudiera llegar hasta acá.

***Byron Alexander González Cortez***

## **DEDICATORIA**

Gracias a Dios por estar siempre presente en cada victoria, cada meta, por saber que todo pasa gracias a su voluntad, por permitirme compartir todo este triunfo con mis familiares y amigos, más en este año donde muchas familias han tenido pérdidas muy importantes, por brindarme la paciencia y personas adecuadas en todo el camino de este recorrido.

A mis padres, Dora Morena Jacobo y José Catalino Hernández Umanzor, a quienes debo todo lo que soy y agradezco infinitamente por el apoyo, todo su amor incondicional, por todo el esfuerzo realizado para darme la oportunidad de prepararme profesionalmente, por educarme con valores y principios cristianos.

A todo y cada uno de mis familiares, los cuales siempre me brindaron su apoyo en muchas formas.

A cada uno de los docentes que fueron parte de mi preparación, por su esfuerzo y empeño en hacer futuros profesionales de calidad.

A mis compañeros y amigos, por ofrecerme su mano en los momentos claves.

A todos y cada una de las personas que ofrecieron su ayuda y apoyo desinteresado, muchas gracias.

***José Abner Hernández Jacobo***



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación es el resultado del estudio realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lorenzo en el Departamento de Ahuachapán, el cual se realizó con el fin de proponer el rediseño de la planta para su óptimo funcionamiento y cumplimiento de la norma ambiental de agua vigente.

En el documento se detallan los métodos de análisis para la determinación de los parámetros que caracterizan las aguas residuales según lo indica el Reglamento Técnico Salvadoreño de Aguas.

Las propuestas de rediseño que se realizaron fueron dos:

- a. Aireadores sumergibles: Consiste en ocho aireadores APEC serie JA-75, distribuida de manera simétrica en la laguna de oxidación, con el fin de garantizar que el oxígeno suministrado cubra todas las áreas de la laguna.
- b. Aireador de Tipo Cascada: el cual simula lo que ocurre en un río turbulento, y consta de 10 escalones de concreto donde el agua se deja caer en láminas o capas delgadas para producir turbulencia y provocar la transferencia del oxígeno, cuando el aire entra en contacto con el agua.

De ambas propuestas la que más se adecua a las necesidades del municipio es el aireador tipo cascada, ya que es un sistema económico y el mantenimiento es sencillo.

A diferencia del aireador sumergible, el aireador tipo cascada no requiere energía eléctrica para su funcionamiento.

## INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: GENERALIDADES.	3
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.2.1. Alcances	4
1.2.2. Limitaciones	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.5 HIPÓTESIS	7
1.5.1. Hipótesis general	7
1.5.2. Hipótesis específica	7
CAPITULO II: GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	8
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MUNICIPIO (COMURES, S.F.)	8
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO	9
2.3 DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA	10
2.4 ASPECTOS ECONOMICOS	12
2.5 CLIMA	12
2.6 FUENTES HIDROGRAFICAS	12
2.7 GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL MUNICIPIO	13
2.7.1. Antecedentes de la planta de tratamiento	13
2.7.2. Descripción del funcionamiento actual de la planta de tratamiento	14
2.7.3. Identificación de problemática en planta de tratamiento	18
CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	19
3.1 AGUAS RESIDUALES	19
3.1.1. Introducción a las aguas residuales	19
3.1.2. Problemática general de la calidad del agua en los ríos de El Salvador	20
3.1.3. Definición de aguas residuales	20
3.1.4. Tipos de aguas residuales	21
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	22
3.2.1. Características físicas	23
3.2.2. Características químicas	26
3.2.3. Características biológicas	29
3.3 METODOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	33
3.3.1. Clasificación del tratamiento de aguas residuales	33
3.4 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS	41

3. 4. 1. Procesos básicos para el tratamiento de lodos	41
3. 4. 2. Usos de lodos tratados	42
3. 5 PARÁMETROS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO	46
3. 5. 1. Parámetros de diseño	46
3. 5. 2. Consideraciones de diseño (Romero , J. A,1999)	49
3. 6 NORMATIVA DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES	51
3. 6. 1. Límites máximos permisibles	51
<b>CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE MUESTREO Y MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.</b>	<b>53</b>
4. 1 PLAN DE MUESTREO	53
4. 1. 1. Naturaleza de afluente	53
4. 1. 2. Identificación del punto de muestreo	53
4. 1. 3. Frecuencia de muestreo	54
4. 1. 4. Tipo de muestra	55
4. 1. 5. Procedimiento de toma de muestra	55
4. 2 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	58
4. 3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS	59
4. 3. 1. Medición del caudal	59
4. 3. 2. Medición de temperatura	59
4. 3. 3. Medición de PH	60
4. 3. 4. Sólidos Suspendidos Totales (Serveriche Sierra, C. A y Otros, 2013).	60
4. 3. 5. Sólidos Sedimentables (Serveriche Sierra, C. A y Otros, 2013).	61
4. 3. 6. Determinación de grasas y aceites	61
4. 4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	61
4. 4. 1. Demanda Química de Oxígeno (Beascochea, E. d ,2001)	61
4. 4. 2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (Beascochea, E. d ,2001)	62
4. 4. 3. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM) (Rodriguez, 2007)	62
4. 5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	63
4. 5. 1. Coliformes fecales (DINAMA, 1996)	63
4. 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
<b>CAPITULO V: PROPUESTAS DE REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.</b>	<b>66</b>
5. 1 AIREACIÓN	66
5. 1. 1. Generalidades	66
5. 2 PROPUESTA A: TECNOLOGÍA CONVENCIONAL	66
5. 2. 1. Aireadores sumergibles	67
5. 3 PROPUESTA B: TECNOLOGÍA NO CONVENCIONAL	73
5. 3. 1. Aireador de cascada tipo escalera.	73
5. 3. 2. Consideraciones Generales de Diseño.	74

5. 3. 3. Condiciones para Diseño de Aireadores en Cascada (Muñoz García, H. F., y Oliverios Vargas, K. E. 2019)	75
5. 3. 4. Fundamentos para diseño de aireador tipo cascada	76
5. 3. 5. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL AIREADOR DE TIPO CASCADA.	78
5. 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE PROPUESTAS	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

## ANEXOS

Anexo 1. Etiqueta para rotular recipiente muestreador	90
Anexo 2. Propuesta de formato de informe de muestreo para Alcaldía Municipal de San Lorenzo, Ahuachapán.	91
Anexo 3. Procedimientos, materiales y quipos para prueba de Sólidos Suspendidos Totales.	92
Anexo 4. Determinación de sólidos sedimentables	94
Anexo 5. Procedimiento de Preparación de Estándares (Determinación de Grasas y Aceite).	96
Anexo 6. Procedimiento, Aparatos, Reactivos, Materiales para la Determinación de Grasas y Aceites	97
Anexo 7. Reactivos, Cálculos y Procedimientos para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno.	101
Anexo 8. Procedimiento y Reactivos para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	103
Anexo 9. Procedimiento de preparación de estándares (Determinación de SAAM).	104
Anexo 10. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM).	105
Anexo 11. Procedimiento, Equipo y materiales para la determinación de Coliformes Fecales.	109
Anexo 12. Informe de resultado de análisis realizados al efluente de la PTAR del municipio de San Lorenzo Ahuachapán	112
Anexo 13. Cálculo de área de lagunas de oxidación	113
Anexo 14. Cálculo del oxígeno requerido por laguna de oxidación y oxígeno suministrado por sistema de aireadores.	114
Anexo 15. Partes de aireador sumergible seleccionado	115
Anexo 16. Vista en planta de aireador	117
Anexo 17. Propuesta de ubicación de aireador tipo cascada	118
Anexo 18. Zona geográfica de PART del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.	119
Anexo 19. Materiales de construcción de aireador tipo cascada	120

Anexo 20. Cuadro de costo financiero de aireador tipo cascada	121
Anexo 21. Cuadro de costo financiero de aireadores sumergibles	122

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Calle principal del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán	8
Figura 2.2	División territorial del municipio de San Lorenzo Ahuachapán encantones	9
Figura 2.3	Puente de hamaca de rio Paz, San Lorenzo Ahuachapán	13
Figura 2.4	Lagunas de oxidación de PTAR del municipio de san lorezo	14
Figura 2.5	Diagrama de procesos de la planta de tratamiento actual del municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.	15
Figura 2.6	Rejillas y desarenador	16
Figura 2.7	Trampa de grasas	16
Figura 2.8	Lagunas de oxidación.	17
Figura 2.9	Biofiltro.	17
Figura 2.10	Patio de secado de lodos.	18
Figura 3.1	Clasificación de los parámetros de caracterización de aguas residuales.	23
Figura 3.2	Esquema de clasificación de etapas del tratamiento de aguas residuales	34
Figura 4.1	Diagrama de pasos para la toma de muestras.	56
Figura 5.1	Distribución de los aireadores sumergibles en laguna de oxidación para parte lateral.	68
Figura 5.2	Distribución de los aireadores sumergibles en laguna de oxidación para parte frontal.	70
Figura 5.3	Distribución de aireadores sumergibles en laguna de oxidación vista en planta.	71
Figura 5.4	Aireador de tipo cascada.	74
Figura 5.5	Curva de absorción de un gas.	77
Figura 5.6	Vista lateral de aireador tipo cascada	81

Figura 5.7 Planos de propuesta de aireador tipo cascada de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.	82
---	----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 División política-administrativa del municipio de San Lorenzo, Ahuachapán	10
Tabla 3.1 Parámetros de diseño, definición e importancia	46
Tabla 3.2 Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor	52
Tabla 4.1 Frecuencia de muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua.	54
Tabla 4.2 Métodos utilizados para la determinación de parámetros de la calidad del agua.	58
Tabla 4.3 Resultado de análisis físico-químicos realizados al efluente de la PTAR del municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.	64
Tabla 5.1 Datos de aireadores Apec serie JA 60 Hz	67
Tabla 5.2 Datos de O <sub>2</sub> suministrado por el sistema de aireadores sumergibles por horas de trabajo en laguna de oxidación.	72
Tabla 5.3 Especificaciones del aireador seleccionado	73
Tabla 5.4 Parámetros típicos para diseño de cascadas de oxigenación.	75
Tabla 5.5 Dependencia de la concentración de oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua	79

## **INTRODUCCIÓN**

El agua es un elemento de vital importancia para la humanidad, su uso para actividades domésticas, industriales y agrícolas, da como resultado la generación de aguas residuales, las cuales deben recibir un tratamiento antes de ser descargadas a un cuerpo receptor (ríos, lagos etc.).

Este recurso hídrico presenta una demanda que aumenta proporcionalmente con el crecimiento poblacional, industrial y agrícola, al no ser tratadas correctamente causan un impacto negativo al medio ambiente y a la salud de las personas. Por lo cual, la buena gestión de estas aguas contaminadas ayudará a disminuir los efectos negativos en el entorno.

En el municipio de San Lorenzo en el departamento de Ahuachapán, se encuentra la planta de tratamiento en estudio, en la cual son tratadas las aguas de la zona urbana y cantón el portillo, estas aguas reciben tratamiento (Rejillas, desarenador, trampas de grasas y lagunas de oxidación); y luego son descargadas al río San Antonio, desconociendo la efectividad del tratamiento recibido, al no determinar las concentraciones de los contaminantes presentes en el agua tratada.

Por tal razón, en el presente documento se realizaron propuestas de rediseño para el buen y efectivo funcionamiento de la planta.

El contenido del presente documento está integrado por cinco capítulos: el primero contempla los objetivos, alcances y limitaciones, planteamiento del problema y justificación.

El segundo, lo referente a las generalidades de la zona de estudio, economía, ubicación geográfica, división política del municipio de San Lorenzo; y generalidades del funcionamiento de la planta de tratamiento.

Tercero, los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración del documento.



Cuarto, describe los pasos para establecer un plan de muestreo y los procedimientos para realizar la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que indica el Reglamento Técnico Salvadoreño de agua, para aguas domésticas.

Quinto, se describen las propuestas de rediseño de la planta, las cuales son: aireador sumergible, la cual es una tecnología convencional y el aireador tipo cascada la cual es una tecnología no convencional.

Por último, se exponen las recomendaciones y conclusiones que se obtuvieron con la elaboración del presente Trabajo de investigación, y en los anexos se presentan los formatos toma de muestra, procedimientos de análisis e información técnica del aireador sumergible y del aireador tipo cascada.

## **CAPITULO I. GENERALIDADES.**

### **1. 1 OBJETIVOS**

#### **1. 1. 1. Objetivo General**

Proponer el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes del municipio de San Lorenzo departamento de Ahuachapán.

#### **1. 1. 2. Objetivos específicos**

- a) Describir el funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas.
- b) Detallar una metodología de muestreo de las aguas residuales.
- c) Determinar los métodos para caracterizar los parámetros de las aguas residuales.
- d) Proponer un sistema que se adecúe al espacio y los recursos disponibles, que garantice la eficiencia del proceso de tratamiento.

## **1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.2.1. Alcances**

- 1) Se recolectará la información sobre los antecedentes de la planta de tratamiento, solicitándola a la alcaldía de la comunidad.
- 2) Se describirá el procedimiento teórico para la toma de muestra de agua basándose en el Reglamento técnico salvadoreño (RTS 13.05.01:18); y la Norma técnica colombiana (NTC-ISO 5667-1, NTC-ISO 5667-2, NTC-ISO 5667-3).
- 3) Para la caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales, se elaborarán las diferentes marchas de los parámetros a analizar (DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, aceites y grasas, pH, Coliformes fecales, SAAM) del afluente y efluente.
- 4) Se elaborará dos propuestas, una con la tecnología apropiada y otra mecanizada, que permitan el desarrollo del proceso de tratamiento de agua de la planta, disminuyendo la carga microbiana de la misma.

### **1.2.2. Limitaciones**

- 1) Debido a la pandemia por el virus COVID-19, no se pudieron realizar actividades programadas con respecto al desarrollo de la investigación, esto debido a las limitaciones de movilidad que se habían puesto en el país por dicho período de tiempo.
- 2) La información solicitada siempre contenía retraso por parte de la Alcaldía Municipal.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El municipio de San Lorenzo pertenece al Departamento de Ahuachapán. Cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, en la cual se tratan las aguas de la zona urbana y el cantón el portillo, esta planta consta de dos lagunas de oxidación y un patio de secado de lodos, el agua luego de ser tratada, es vertida directamente al río San Antonio.

Los parámetros de descarga no cumplen con los establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua (RTS 13.05.01:18). Por lo cual, al ser descargas al cuerpo receptor ocasionan impactos negativos sobre el medio ambiente y problemas a la salud de los habitantes.

Aguas abajo del punto donde se mezcla el efluente de la planta de tratamiento con las aguas del río; parte de estas son utilizadas para actividades agrícolas, por lo cual, es de suma importancia mejorar el rendimiento de la planta.

Con los objetivos alcanzados, la localidad del municipio de San Lorenzo contará con una propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, la cual permitirá dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente, y con esto garantizar una mejor calidad de vida a sus pobladores y así minimizar los impactos ambientales.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

El Municipio de San Lorenzo en el departamento de Ahuachapán mantiene la problemática de la contaminación del Río San Antonio, en el cual se vierten las aguas tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad. El diseño, unido a la operación no apropiado de la planta de tratamiento, disminuye la efectividad del sistema, evitando que el agua pueda alcanzar la calidad que exige el reglamento técnico salvadoreño de agua. Por lo cual, ha obligado a las autoridades municipales a implementar acciones que ayuden a atenuar el problema. Las cuales no han sido suficientes para alcanzar los objetivos deseados.

Las medidas implementadas han contribuido a disminuir los malos olores provocados por la materia en descomposición presente en el agua y así mismo, la turbidez del agua del río.

A través del estudio realizado, se hará la propuesta de un rediseño de la planta de tratamiento, para su correcto funcionamiento con la finalidad de mitigar los problemas generados por la contaminación, disminuyendo la carga microbiana y evitando la prolongación del deterioro ambiental.

## **1.5 HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es imprescindible para el funcionamiento óptimo de los procesos y aprovechamiento adecuado de las instalaciones de la planta.

### **1.5.2. Hipótesis específica**

Los procesos actuales de operación son inadecuados para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **CAPITULO II. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

### **2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MUNICIPIO (COMURES, s.f.)**

Originalmente la zona donde se ubica el municipio de San Lorenzo estuvo habitada por indios pokomanes del grupo mayaquiché, quienes luego fueron conquistados por guerreros Yaquis o Pipiles hacia finales del siglo XV. Con la llegada de los españoles y las posteriores transformaciones territoriales y reordenamiento realizado por los conquistadores, San Lorenzo fue denominado así y elevado a la categoría de pueblo recién hacia el año 1835. Durante la administración del licenciado Francisco Dueñas, y por Decreto Legislativo del 9 de febrero de 1869, se creó el departamento de Ahuachapán, y por una segunda ley, esta vez del 26 de febrero de ese mismo año, tanto San Lorenzo como Apaneca, pasaron a formar parte del recién conformado departamento de Ahuachapán.

Entre los personajes notables que han nacido y vivido en esta localidad destacan: don Juan Bautista Cortez, don Jaime Napoleón, y don Abel “Abelito” Cárcamo, quien junto a la señora Rosa Braggioly, conformaron una familia que dio origen a Roberto Cárcamo, Julio Cárcamo, Ricardo Cárcamo, Haydee Cárcamo y Walter Cárcamo, profesores de educación, ingenieros topógrafos y fundadores del famoso Trio Los Hermanos Cárcamo.



**Figura 2.1 Calle principal del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán**

Fuente: ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN LORENZO, AHUACHAPÁN, 2020, DEPTO. DE COMUNICACIONES.

## 2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO

San Lorenzo es un municipio del Distrito de Atiquizaya, Departamento de Ahuachapán, posee una población que asciende a 10 mil habitantes, está limitado por los siguientes Municipios: al Norte por la República de Guatemala, al Este por Chalchuapa (perteneciente al departamento de Santa Ana); y al Sur por Atiquizaya y al Oeste por Ahuachapán.

El municipio de San Lorenzo tiene una extensión de 48.33 km<sup>2</sup>, de los cuales 48.23 km<sup>2</sup> pertenecen al área rural y 0.10 km<sup>2</sup> al área urbana.

Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 14°03'45" (extremo septentrional) y 13°59'04" LN (extremo meridional); 89°43'22" LWG (extremo oriental); 89°51'44" LWG (extremo occidental).



**Figura 2.2 División territorial del Municipio de San Lorenzo en cantones.**

Fuente: CONSULTORÍA Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, S.A. DE C.V., 2012.



## 2.3 DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA

En la tabla 2.1 se presenta la división política y administrativa del municipio de San Lorenzo departamento de Ahuachapán.

**Tabla 2.1 División política-Administrativa del municipio de San Lorenzo departamento de Ahuachapán.**

<b>Zona rural</b>		<b>Zona urbana</b>
<b>Cantón</b>	<b>Caseríos</b>	<b>Barrios/colonias</b>
El conacaste	El Conacaste El Sitio o la Aguja Los Potrerillos Los Perdomos Colonia San Emigdio Los Fajardos Los Campos	Barrio El Centro Barrio El Pilar Barrio La Vega Lotificación La Huerta Colonia Nuevo San Lorenzo Colonia San Emigdio San Lorenzo 1 San Lorenzo 2 Reparto Republica de Italia
El Portillo	El Portillo Los Sermeños Los Asencio Los Fajardos	
La Guascota	La Guascota Guascotilla Los Peñate Los Vargas Colonia La Divina Providencia Reparto Nuevo San Lorenzo	
Las Pozas	Las Pozas Los Tobares Los Mejías San José Ojo de Agua	

*Continúa*

**Tabla 2.1 División Política-Administrativa del municipio de San Lorenzo departamento de Ahuachapán (continuación)**

<b>Zona rural</b>		<b>Zona urbana</b>
<b>Cantón</b>	<b>Barrios/colonias</b>	<b>Barrios/colonias</b>
Las Pozas	Los Peñate 1 Los Peñate 2 La Capilla EL Ciprés Los Silvas Los Pinedas San Felipe Colonia San José Santa Luisa Los Najarro Lotificación San Lorenzo	
El Jicaral	San Matías Los Chinchilla El Tonel Zanarate	
San Juan Buenavista	San Juan Buenavista Los Amates El Zaral Colonia Las Flores Los Macall Pata de Gallina San Francisco Los Sotos Los Lemus Asentamiento humano San Juan Buena Vista	

Fuente: CONSULTORÍA Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, S.A. DE C.V., 2012.

## **2.4 ASPECTOS ECONOMICOS**

Es la cuna de la producción de loroco y jocote, la cual es la base productiva del municipio, entre otros recursos de ingreso para su gente están: granos básicos, artesanías y turismo.

Con la metodología un pueblo un producto, con la colaboración de CONAMYPE, JICA y el Gobierno Local de San Lorenzo y productores agrícolas, se han fundado cooperativas, grupos asociativos, lo cual ha impulsado la economía del municipio.

En la última semana de abril celebran el festival del jocote barón rojo y se preparan para celebrar el festival de loroco los días 29 y 30 de agosto.

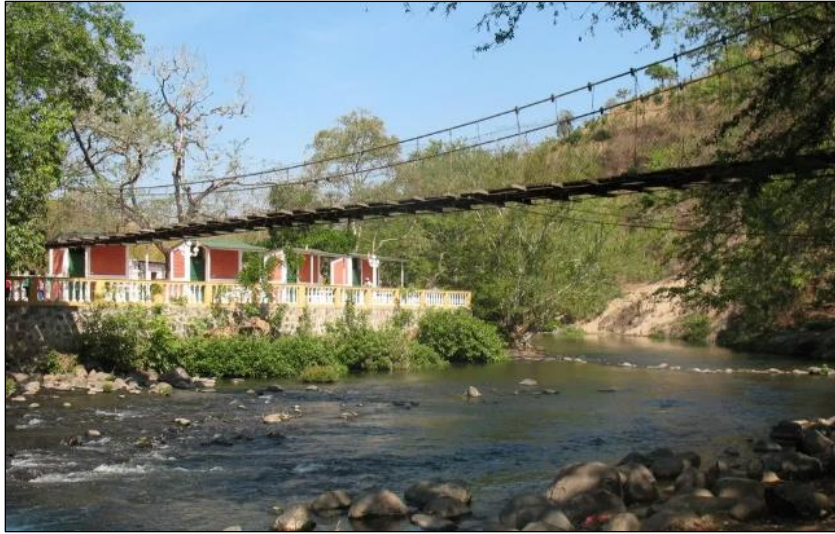
## **2.5 CLIMA**

Es caluroso y pertenece a los tipos de tierra caliente y tierra templada. El monto pluvial oscila entre 1800 a 2400 mm por año.

## **2.6 FUENTES HIDROGRAFICAS**

Los principales ríos del municipio de San Lorenzo son: Paz, Güeviapa, Pampe o Chalchuapa, San Antonio o San Lorenzo, y las quebradas: Los Caballos, Las Lechuzas, El Limón, Agua Tibia, El Jaco, El obraje o El Ciprés, La Ciénega, Ojo de Agua y Las Iguanas.

En la siguiente Figura se muestra el puente de hamaca que se encuentra ubicado en el Cantón El Portillo.



**Figura 2.3 Puente de hamaca de Rio Paz, San Lorenzo Ahuachapán**

Fuente: ALCALDÍA MUNICIPAL SAN LORENZO AHUACHAPÁN, 2020, DEPTO. DE COMUNICACIONES.

## **2. 7 GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL MUNICIPIO**

En este apartado se mencionan algunas generalidades de la planta del municipio de San Lorenzo, con el fin de conocer la estructura y el funcionamiento de dicha planta.

### **2. 7. 1. Antecedentes de la planta de tratamiento**

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lorenzo se inició en diciembre del 2009 y se terminó en mayo de 2010, la planta fue diseñada para operar por rebalse; y se construyeron dos lagunas de oxidación (véase Figura 2.4) con las siguientes dimensiones: ancho 18.56 m; largo 30 m y profundidad de 3.65 m.

El curso que seguía el agua hasta llegar al cuerpo receptor (Rio San Antonio) era el siguiente: pasaba por rejillas que retenían los sólidos de mayor tamaño, luego a

lagunas de oxidación las cuales se llenaban gradualmente (ambas lagunas en funcionamiento), y el agua de rebalse era directamente descargada al río.

Los impactos ambientales que se generaban : la emisión descontrolada de gases, que afectaban a las comunidades de los alrededores; la turbidez y mal olor en el río, alteraba la vida acuática, y la población a las orillas del río que usan el agua como fuente de riego se mostraba disgustada y preocupada por tal problema.

La actual administración de la alcaldía municipal de San Lorenzo decidió atenuar el problema, contratando a una empresa que se encarga de la operación y mantenimiento de la planta, reduciendo el mal olor y la turbidez de las aguas de descarga.



**Figura 2.4 Lagunas de oxidación de PTAR del Municipio de San Lorenzo**

Fuente: ALCALDIA MUNICIPAL DE SAN LORENZO, AHUACHAPÁN, 2012

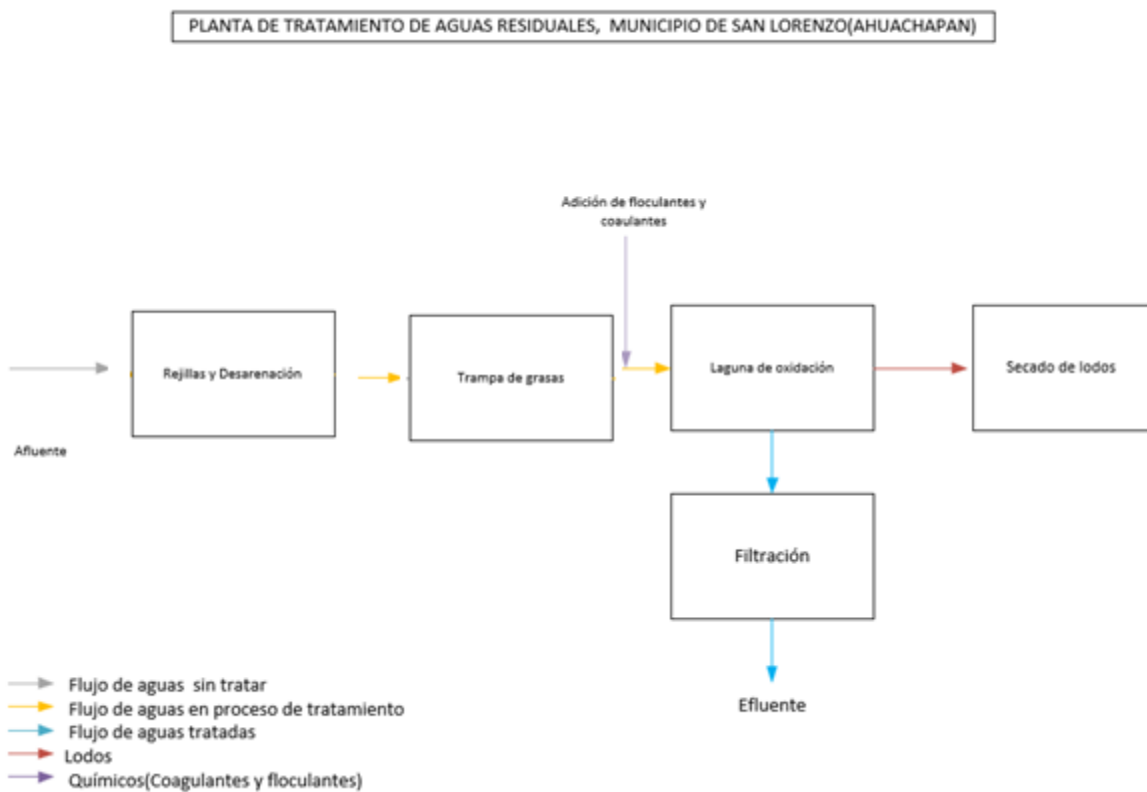
### **2. 7. 2. Descripción del funcionamiento actual de la planta de tratamiento**

En la actualidad, solamente se utiliza una laguna de oxidación, el agua sigue el mismo curso que anteriormente se explicaba, con la diferencia que ahora se realiza la adición de coagulantes y floculantes dos veces al día, en ocasiones se aumenta la dosis, por la incorporación de aguas residuales de un matadero de aves. La cual, aumenta la carga orgánica del afluente; la descarga del agua tratada se realiza cada tres días, y la

remoción de los lodos cada seis días, y estos son llevados al área de almacenamiento de lodos.

El tratamiento que se les da a los lodos es deshidratación solar, y parte de ellos son utilizados en el área agrícola.

Los procesos de la planta de tratamiento residuales actual se muestran en la siguiente Figura 2.5.



**Figura 2.5 Diagrama de procesos de la planta de tratamiento actual del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.**

### **a. Rejillas y desarenador**

El agua residual bruta pasa a través de las rejillas que retienen los sólidos de gran tamaño, y sigue al desarenador donde se depositan los sólidos más pesados como las arenas, en la siguiente Figura 2.6 se muestra la estructura del desarenador.



**Figura 2.6 Rejillas y desarenado.**

### **b. Trampa de grasas**

Las trampas de grasas (véase Figura 2.7) retardan el flujo del agua procedente de los desagües, con lo que las grasas y el agua tienen tiempo para separarse. Al separarse las grasas flotan en la superficie mientras que otros sólidos más pesados se depositan en el fondo de la trampa.



**Figura 2.7 Trampa de grasas**

### **c. Lagunas de oxidación**

Es un proceso abierto en el cual el agua pasa a través de una cuenca, la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua.

En la siguiente Figura 2.8 se muestran las lagunas de oxidación ubicadas en la planta.



**Figura 2.8 Lagunas de oxidación.**

### **d. Filtración**

Las aguas pasan por el biofiltro que utiliza como medio de soporte piedras volcánicas (véase Figura 2.9), como lecho infiltrante para así potenciar la eliminación de materia orgánica, y luego son vertidas al cuerpo receptor.



**Figura 2.9 Biofiltro.**



### **e. Secado de lodos**

Los lodos son el desecho resultante del tratamiento de aguas residuales, estos son removidos de las lagunas de oxidación donde han sedimentado. El método más simple y económico de deshidratar los lodos es mediante la radiación solar (véase Figura 2.10).



**Figura 2.10 Patio de secado de lodos.**

### **2. 7. 3. Identificación de problemática en planta de tratamiento**

La inadecuada operación de la planta de tratamiento, la falta de equipo necesario, unido al poco o nulo conocimiento de procesos de tratamiento de aguas residuales por parte del personal encargado contribuye al incumplimiento de las normas ambientales vigentes en nuestro país como lo es el RTS 13.05.01:18, contribuyendo al deterioro al medio ambiente, afectando cuerpos de agua y a la población aledaña.

## **CAPITULO III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

### **3. 1 AGUAS RESIDUALES**

#### **3. 1. 1. Introducción a las aguas residuales**

El hombre ha utilizado el agua no sólo para su consumo, sino con el paso del tiempo, para su comodidad y confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos.

La ampliación de los sistemas de alcantarillado en comunidades, el incremento de la industrialización y el aparecimiento de nuevas empresas decididas a convertirse en grandes empresas, han provocado una situación en la cual el caudal de aguas residuales que regresa a las aguas naturales sobrepasa la capacidad de auto purificación de estas últimas.

Las aguas residuales son un componente crítico del ciclo del agua y deben ser tomadas en cuenta durante todo el ciclo de gestión del agua: desde la captación de agua dulce, el tratamiento, la distribución, el uso, la recolección y el tratamiento posterior hasta su reutilización y retorno final al medio ambiente, donde se repone la fuente para las subsiguientes captaciones de agua. Sin embargo, la mayoría de las veces, la atención que se da a la gestión del agua después de su uso, ha sido un componente del ciclo de gestión del agua a menudo pasado por alto. (UNESCO, 2017).

Por lo cual, ha sido y es necesario introducir continuamente regulaciones legislativas, de carácter cada vez más enérgico, destinadas a proteger estos cuerpos de agua, a fin de evitar así la contaminación y la sobrecarga impuesta a las aguas naturales por sustancias contaminantes y dañinas; al mismo tiempo, debe ser posible el reúso del agua para múltiples propósitos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como uno de los derechos fundamentales de todo ser humano el disfrute del grado máximo de salud posible.

### **3. 1. 2. Problemática general de la calidad del agua en los ríos de El Salvador**

De acuerdo con un estudio realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) con el fin de monitorear permanentemente la calidad y cantidad de agua, mediante la recolección de muestras y análisis de parámetros de calidad de agua en sitios de muestreo distribuidos de 55 ríos en el territorio nacional, con el propósito de evaluar su condición para permitir el desarrollo de la vida acuática y aptitud para diferentes usos. (MARN, 2017).

Para poder establecer si el uso de las aguas de un río son aptas para un uso en específico, existe un parámetro que estudia su condición general, se llama índice de Calidad de Agua General(ICA), este índice tiene un valor máximo determinado de 100, este disminuye con el aumento de la contaminación en el agua en estudio y este puede llegar a cero, para cada uno de los sitios que se han elegido considerando todos los parámetros necesarios para garantizar que sea representativo del curso de agua, es decir, que caracterice la calidad de toda la masa de agua que circula por el sitio en un periodo de tiempo dado, según lo indica el protocolos de monitoreo de calidad y cantidad de agua de la Dirección General del Observatorio Ambiental (DOA). (MARN, 2017). Para el año 2017 ningún sitio cumplió con la aptitud de uso para agua cruda a potabilizar por métodos convencionales, solo el 6% de los sitios de evaluación nacional cumplen con la aptitud de uso para actividades relacionadas con contacto humano, según las guías de calidad de agua.

### **3. 1. 3. Definición de aguas residuales**

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que han recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes resultante de cualquier uso, las cuales de manera general pueden ser de dos tipos: ordinario y especial. (OSARTEC, 2018)

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos constituye las aguas residuales, que es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, se puede definir el agua residual como una combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. (Metcalf y Eddy, 1996).

Contaminación del agua es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial en su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica, esto es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio tanto a corto, como a medio y largo plazo; por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria.

Las aguas residuales, debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo.

#### **3. 1. 4. Tipos de aguas residuales**

Es común clasificar a las aguas residuales en dos tipos: industriales (aguas especiales), urbanas y domésticas (aguas ordinarias). Las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado o cuerpo receptor; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales o urbanas se emplean también con las industriales. Pueden existir aguas residuales industriales que tengan características compatibles con las municipales. (Valdez, E. C. y Vázquez González, A.B., 2003).

La clasificación de las aguas residuales también se puede desglosar dependiendo de sus orígenes de la siguiente manera:

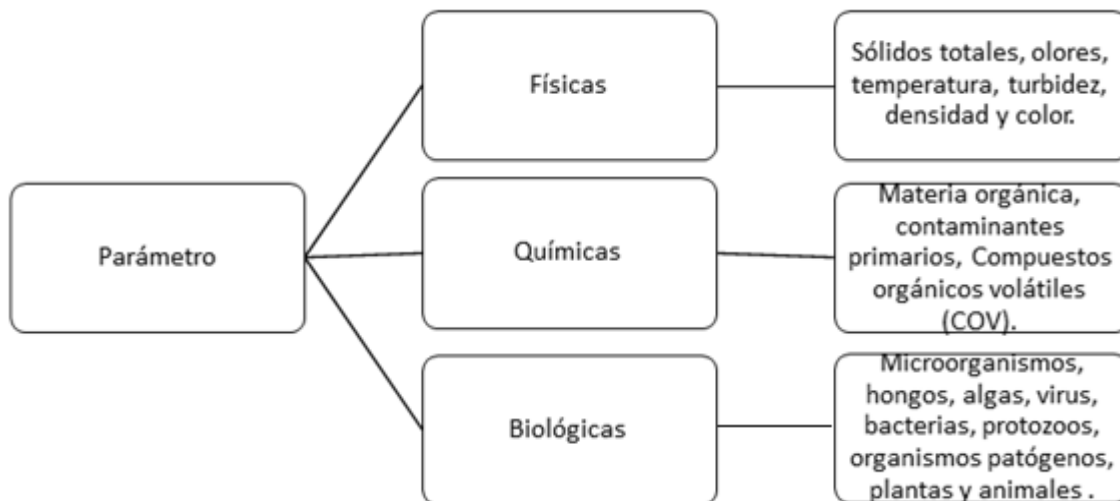
- a. Aguas residuales domésticas:** las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas proceden de las heces y orina humanas (aguas negras), del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa (aguas grises). Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
  
- b. Aguas residuales urbanas:** las aguas residuales domésticas, o la mezcla de estas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
  
- c. Aguas residuales industriales:** consisten en todas las aguas residuales vertidas desde sitios utilizados para desarrollar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial, proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Éstas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar. (Rodríguez Fernandez , y otros, 2006).
  
- d. Aguas residuales agrícolas:** Son producto 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.

### **3. 2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Es importante conocer la composición de los agentes contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. A partir de la caracterización física, química y

biológica, se determinará la afectación que causan al medio ambiente, y de esta manera, se propondrá el tratamiento y disposición apropiada.

Los parámetros para la caracterización de aguas residuales pueden clasificarse de la siguiente manera:



**Figura 3.1 Clasificación de los parámetros de caracterización de aguas residuales.**

### **3. 2. 1. Características físicas**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y turbiedad. (Metcalf y Eddy, 1996).

#### **Sólidos totales**

Esta característica se define como la materia que se obtiene como residuo después de la evaporación del agua a temperaturas de 103-105 °C.

Los sólidos sedimentables también forman parte de los sólidos existentes en una muestra de agua, para cuantificarlos es necesario acompañarse de un instrumento conocido como cono Imhoff, al colocarse la muestra de agua dentro del cono los sólidos se acomodan al fondo de este (sedimentan), la lectura de este parámetro se realiza a los 60 minutos de reposo, esta lectura es expresada en unidades de mL/L.

Los sólidos totales pueden clasificarse como filtrables o no filtrables. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y sólidos disueltos. (Metcalf y Eddy, 1996).

## **Olores**

Durante la descomposición de la materia orgánica se liberan gases lo cual ocasiona la percepción de olores, si comparamos los olores del agua residual reciente y el agua residual séptica, notamos que la primera tiene un olor tolerable, aunque desagradable, mientras que la segunda posee un olor muy desagradable, esto debido a que en el agua residual séptica se encuentra sulfuro de hidrogeno, el cual se reduce de sulfatos y sulfitos por medio de acción de microorganismos anaeróbicos. La implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales sufre rechazo debido a la problemática de sus malos olores que generalmente se presentan. (Metcalf y Eddy, 1996).

Para poder caracterizar olores se deben tomar en cuenta cuatro factores de forma independiente: la intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y la detectabilidad.

## **Temperatura**

Usualmente el agua de suministro es de temperatura más baja que la temperatura del agua residual, debido a la incorporación de contaminación en formas de energía necesarias para algunas actividades tanto domesticas como industriales.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidad de reacción, así como la aptitud del agua para los usos útiles. Por ejemplo, el aumento de la de temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas. (Metcalf y Eddy, 1996).

Hay que tener en cuenta que el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría, de esta forma un aumento de temperatura en cuerpos receptores de agua puede afectar gravemente la vida acuática.

Asimismo, la temperatura juega un papel importante si contamos con un método de tratamiento biológico debido a que las temperaturas óptimas para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúan entre los 25 y 35°C.

## **Densidad**

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. Las densidades de aguas residuales domesticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obteniendo como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. (Metcalf y Eddy, 1996).

## **Color**

Las aguas residuales domésticas frescas son generalmente de color gris y a medida que el agua envejece cambia a color gris oscuro y luego a negro. El color negro de las



aguas residuales sépticas es producido principalmente por la formación de sulfuros metálicos. El color en aguas residuales industriales puede indicar el origen de la contaminación, así como el buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria colorante de textiles y los de pulpa de papel. (Romero, J. A, 1999).

### **Turbiedad.**

Es una medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua. Es utilizada como un indicador de la calidad del agua vertida a un cuerpo receptor o natural, esto en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

La medición de turbidez en una muestra se lleva a cabo mediante comparación entre la intensidad de la luz dispersa y la intensidad conocida de una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

El aparato que se utiliza para la medición en laboratorio de este parámetro es llamado Turbidímetro y el resultado de la medición se expresa en Unidades Nefelométrica de Turbiedad (UNT).

### **3. 2. 2. Características químicas**

Para comprender el estudio de las características químicas del agua residual se tomarán en cuenta cuatro apartados los cuales son: la materia orgánica, la medición del contenido orgánico, materia inorgánica y los gases presentes en el agua residual. Debido a la importancia que representa la calidad del agua y el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas la medición del contenido en materia orgánica debe realizarse por separado.

## **Materia Orgánica**

Los sólidos suspendidos de un agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica; los sólidos disueltos un 40%. La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40-60 %), los carbohidratos (25-50%) y las grasa y aceites (10%) como grupos importantes. Concentraciones grandes de materia orgánica, en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO y el COT. (Romero, J. A.,1999).

### **Medidas del contenido orgánico**

Los métodos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales según Metcalf y Eddy (1996) son: demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y carbono orgánico total (COT).

- a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días ( $DBO_5$ ). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.
- b. Demanda química de oxígeno (DQO):** El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse.

- c. Carbono orgánico total (COT):** Otro método para medir la materia orgánica presente en el agua es el método COT, especialmente indicativo para pequeñas concentraciones de materia orgánica.

### **Compuestos orgánicos volátiles**

Normalmente se consideran como compuestos orgánicos volátiles aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de 100°, y/o presión de vapor 1 mm hg a 25 °C (Metcalf y Eddy, 1996).

### **Materia inorgánica**

La densidad de la materia inorgánica en el agua aumenta a partir de descargas de aguas domésticas, industriales y agrícolas sin tratar; también, por la erosión de los suelos.

Los contaminantes principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua.

### **Agentes tensoactivos**

Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y son responsables de la aparición de espuma en las plantas de tratamiento y en las superficies de cuerpos receptores de los vertidos de agua residual. (Metcalf y Eddy, 1996).

## **Gases**

La presencia de los gases como el nitrógeno ( $N_2$ ), el oxígeno ( $O_2$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), que se encuentran en la atmósfera y están presentes en todas las aguas por contacto en las mismas; y otros como el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el amoníaco ( $NH_3$ ), y el metano ( $CH_4$ ) que se forman por la descomposición de la materia orgánica en el agua y son con frecuencia encontrados en las aguas residuales brutas.

### **3. 2. 3. Características biológicas**

La caracterización biológica es importante en la determinación de la calidad del agua y permite identificar la presencia de organismos patógenos provenientes de heces humanas.

A continuación, se describen diferentes tipos de organismos que se encuentran presentes en el agua residual.

## **Microorganismo**

En aguas superficiales como en aguas residuales los principales grupos orgánicos son: eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, la mayoría de los organismos pertenecen a eubacterias.

En la categoría Protista dentro de los organismos eucariotas están algas, hongos y protozoos para la clasificación multicelular tenemos plantas hepáticas y de semilla también se considera animales eucariotas multicelulares a los vertebrados e invertebrados.

## **Bacterias**

Las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento biológico, son de suma importancia en la descomposición y estabilización no solo para plantas de tratamiento sino también el marco natural. Por lo cual, es importante el conocimiento de sus características, funcionamiento metabólico y su proceso de síntesis, para establecer contaminación; también se puede usar los Coliformes debido a los desechos humanos para establecer el grado de contaminación.

## **Hongos**

Los hongos y las bacterias son los principales encargados de la descomposición de carbono en la biosfera. Los hongos son eucariotas, aerobios, multicelulares y quimio heterótrofos, basan su alimentación con materia orgánica muerta.

La mayoría de los hongos son aerobios, pueden crecer con muy poca humedad y toleran ambientes con pH relativamente bajos, los hongos tienen una baja demanda de nitrógeno solo necesitan aproximadamente la mitad que las bacterias. La capacidad de los hongos para sobrevivir en condiciones de pH bajo es de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales y en formación de compuestos de residuos sólidos orgánicos. (Guzmán, J. E. y Otros, 2005)

## **Algas**

Estas pueden representar una reproducción masiva en condiciones adecuadas y dar problemáticas, el nombre de este fenómeno es llamado crecimiento explosivo, esto provoca que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por algas.

El crecimiento explosivo se da en dichos lagos eurotróficos, esto se debe el afluente de agua residual ya que estas son ricas en nutrientes biológicos, la descarga del afluente provoca su enriquecimiento.

Además del crecimiento explosivo, las algas presentan problemáticas de olor y de sabor, y esto afecta al agua de abastecimiento, en el proceso de suministro de agua, se busca el carbono y las diferentes formas de nitrógeno y fósforo, ya que estas favorecen el crecimiento de algas y su reproducción.

En las lagunas de estabilización, la capacidad de las algas para generar oxígeno por medio de la fotosíntesis es de vital importancia para el medio ambiente acuático, para que una laguna de oxidación funcione adecuadamente, la presencia de algas es necesaria para proporcionar el oxígeno a las bacterias heterótrofas aeróbica. (Guzmán, J. E. y Otros, 2005)

### **Protozoos.**

Los protozoos son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta (Metcalf y Eddy, 1996).

Los protozoos son principalmente aeróbicos, aunque se conocen algunos anaeróbicos, pero para el estudio de aguas residuales los más importantes son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos tienen una vital importancia en tratamientos biológicos purificando el recurso agua, estos se alimentan de organismos microscópicos y bacterias, con estos son capaces de mantener un balance natural entre todos los tipos de organismos.

### **Plantas y animales**

Es de vital importancia que el conocimiento de las plantas y los animales no importando su tamaño ya que estos organismos resultan de mucho valor en el momento de la valoración del estado de lagos y corrientes naturales, también en la determinación de la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, es de ayuda igualmente el estudiar la efectividad de tratamiento secundario que se usan para reducir los residuos orgánicos.

Desde el punto de vista de salud pública, existen ciertos gusanos que necesitan especial atención y preocupación. Los platelmintos (común mente llamados gusanos planos) y los asqueamientos son importantes familias de gusanos. (Metcalf y Eddy, 1996).

## **Virus**

Un virus es una partícula formada por un cordón de material genético, con una capa proteica. Los virus carecen de sintetizar compuestos nuevos, para sustituir esto invaden células del cuerpo vivo donde son huéspedes y así producen nuevas células virales a costa de células originales, al morir la célula original se libera grandes cantidades de virus que infectan nuevas células, los virus son un riesgo para la salud pública.

## **Organismos patógenos**

La mayor parte de patógenos que se encuentran en aguas residuales vienen de heces humanas.

Compuestos patógenos son: bacterias, virus, protozoos, y el grupo de los helmintos, algunos de ellos son expulsados por el hombre, causan enfermedades del aparato intestinal como ejemplo la fiebre tifoidea y paratifoidea, diarrea y cólera. Los organismos patógenos tienen pequeña presencia en aguas residuales y contaminadas por eso se emplea organismos Coliformes como indicador ya que la presencia de este es más fácil de ser identificada, el ser humano evacua de 100000 a 400000 millones de organismos Coliformes cada día y eso termina en las aguas residuales que deben ser tratadas, por esto los Coliformes son indicadores de organismos patógenos, aunque no siempre que hay bacterias Coliformes se quiere decir que hay contaminación de organismo patógeno ya que la *Aerobacter* y ciertas clases de *Escherichia* pueden crecer en el suelo.

### **3. 3 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

En la actualidad existe la tendencia de agrupar los métodos de tratamiento en dos grandes grupos, e independientemente de la capacidad de remover la carga orgánica contaminante en las aguas residuales: operaciones y procesos unitarios. En el primero predomina la aplicación de principios físicos y en el segundo la actividad química o biológica.

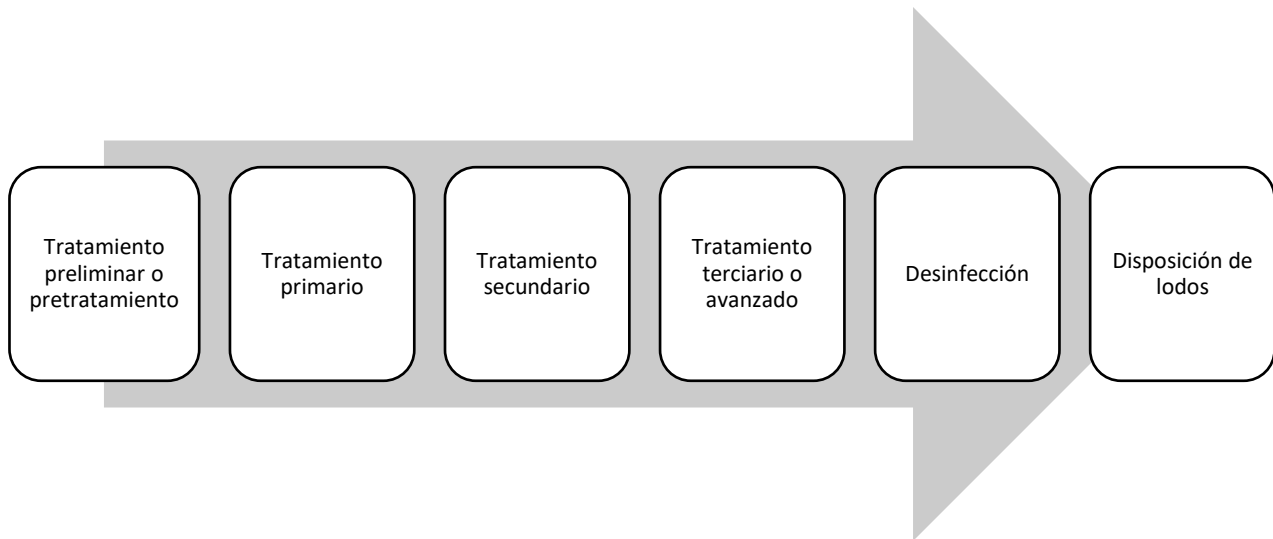
Anteriormente, los procesos y las operaciones unitarias se agrupaban bajo la denominación de tratamiento primario, secundario y terciario, como normalmente se puede encontrar en la literatura. En el tratamiento primario se agrupaban las operaciones del tipo físico, el secundario con los procesos biológicos de asimilación de la materia orgánica y el término terciario o también conocido como tratamiento avanzado se ha aplicado a las operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes que no han podido ser removidos por el tratamiento primario o secundario.

La selección del proceso de tratamiento a emplear depende del uso para el cual se destinará al efluente tratado, la naturaleza y características que presente el agua residual, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles de evacuación de los contaminantes finales y la viabilidad económica que pueda presentar la construcción de la planta de tratamiento con cada uno de sus componentes.

#### **3. 3. 1. Clasificación del tratamiento de aguas residuales**

De forma práctica podemos clasificar las etapas de tratamiento de aguas residuales de la siguiente manera:





**Figura 3.2 Esquema de clasificación de etapas del tratamiento de aguas residuales.**

### **Tratamiento preliminar o pretratamiento**

Las aguas residuales antes de su tratamiento deben someterse a un pretratamiento, una primera etapa del proceso que consiste en la preparación o acondicionamiento del agua, con el objetivo de proteger los equipos subsiguientes a utilizar en el proceso y eliminar o reducir sensiblemente algunas condiciones indeseables que pueden ocurrir en las plantas de tratamiento.

Dentro del pretratamiento se incluyen las operaciones de separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado y desarenado—desengrase.

#### **a. Separación de sólidos de gran tamaño**

Cuando en las aguas residuales a tratar se prevea la presencia de sólidos de gran tamaño, o una excesiva cantidad de arenas, es necesario ubicar una instalación de depuración de sólidos gruesos, que permita la separación de estos elementos.

Este sistema debe situarse a la entrada de la planta de tratamiento.

## **b. Desbaste**

El objetivo del desbaste es la eliminación de sólidos de pequeño y mediano tamaño, por ejemplo: trozos de madera, trapos, etc., que de uno u otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos como bombas y obstruir el paso de la corriente de agua.

Comúnmente se hacen pasar las aguas mediante rejillas que de acuerdo a su fabricación o separación entre barros se pueden clasificar como:

- i. Desbaste de gruesos: el paso libre entre los barros va de 50 a 100mm
- ii. Desbaste de finos: el paso libre entre los barros va de 10 a 25mm

## **c. Tamizado**

Tiene por objeto reducir el contenido de sólidos en suspensión presentes en el agua a tratar, el agua se hace pasar a través de un soporte delgado (tamiz) compuesto por ranuras que permite el paso del agua. Pueden distinguirse distintos tipos de tamices como: estático auto limpiante, rotativo y deslizante.

- i. Tamiz estático auto limpiante: Este tipo de tamiz consta de un enrejado constituido por barras horizontales de acero inoxidable, rectas o curvadas orientadas de tal forma que la parte plana se encara al flujo que entra normalmente por la parte superior. La inclinación del enrejado va disminuyendo progresivamente de la parte superior a la parte inferior, entre  $65^\circ$  y  $45^\circ$ , logrando con esto la separación, escurrido y evacuación de los sólidos retenidos por el tamiz que debido a la inclinación de este ruedan hacia un contenedor situado en la parte inferior.

- ii. Tamiz rotativo: está constituido por un enrejado de forma cilíndrica con eje horizontal, siempre elaborado por barras de acero inoxidable. El enrejado de esta gira lentamente accionado por un motor reductor.

La alimentación de este tipo de tamiz se efectúa por su parte exterior del cilindro. Los sólidos retenidos en la parte externa se evacúan mediante la acción de una cuchilla y del propio giro del enrejado cilíndrico (Alianza por el agua, 2008).

- iii. Tamiz deslizante: son de tipo vertical y continuo la separación de su enrejado oscila los 0.2 y 3mm y son útiles en la operación de desbastes de sólidos finos.

#### **d. Desarenado**

En esta etapa del proceso son eliminadas las materias pesadas que pueden sedimentar de tamaño superior a los 0.2mm, evitando así que sedimenten en canaletas y sistemas de conducciones, de esta forma ayuda a la protección de bombas y otros elementos de la abrasión.

Además de las arenas en esta etapa también se eliminan las gravas y otras partículas minerales o elementos de origen orgánico que no se descomponen fácilmente como pueden ser: granos de café, semillas, huesos, cascaras de frutas o cascaras de huevos, etc. (Alianza por el agua, 2008).

#### **e. Desengrasado**

En esta etapa se eliminan las grasas y demás materia con densidad menor a la del agua que permite flote, los sistemas utilizados para este fin se conocen comúnmente como trampas de grasa. Los desengrasadores se pueden distinguir entre desengrasadores estáticos y desengrasadores aireados.

- i. Desengrasadores estáticos: son depósitos dotados de un tabique a través de los cuales se hace pasar el agua obligándola a salir por la parte inferior de este, permitiendo que los componentes de menor densidad que el agua

queden retenidos en la superficie del depósito. La extracción de estas grasas se realiza de forma manual, mediante el uso de canastas.

- ii. **Desengrasadores aireados:** En este tipo de desengrasador aire es inyectado con el objetivo de emulsionar las grasas, lo cual permite una mejor flotación de estas.

### **Tratamiento primario**

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y 65% de los sólidos suspendidos. (Rojas, R., 2002)

Los tratamientos primarios se centran en la eliminación de los sólidos suspendidos, permiten además la reducción de la contaminación biodegradable, debida que parte de los sólidos eliminados están compuestos por materia orgánica.

#### **Dentro de los tratamientos primarios más habituales podemos citar:**

- a. **Decantación primaria:** Este proceso elimina la mayor parte posible de los sólidos sedimentables, por efecto de la gravedad, la extracción de los sólidos es primordial, debido a que, sin esto, darían lugar a grandes demandas de oxígeno en etapas posteriores para su degradación.
- b. **Tratamientos fisicoquímicos:** Este tipo de tratamiento se realiza mediante el uso y aplicación de reactivos químicos conocidos como coagulante y floculante, aquí se consigue reducir en gran medida los sólidos en suspensión, además de los sólidos coloidales, incrementándose el tamaño y la densidad de los mismos,

formando coágulos y posteriormente flóculos que mediante la acción de la gravedad pueden sedimentar o con ayuda de aire en ascenso puedan flotar, mediante el proceso de coagulación-floculación.

### **Tratamiento secundario. (Alianza por el agua, 2008)**

El tratamiento secundario consiste generalmente en la conversión biológica de compuestos orgánicos disueltos y coloidales en biomasa, misma que puede ser removida a continuación por sedimentación u otro proceso, en el que se consiga la eliminación de la materia orgánica.

El tratamiento biológico ocurre con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales. Parte de la materia orgánica es oxidada por la flora bacteriana, que obtiene de esta forma la energía necesaria para el mantenimiento celular. De forma simultánea, otra fracción de la materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular nuevo (síntesis celular), empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación.

#### **Reacción de Oxidación:**



**(Ecuación 3.1)**

#### **Reacción de Síntesis:**



**(Ecuación 3.2)**

Donde COHNS representa los elementos predominantes en la materia orgánica presente en las aguas residuales y  $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$  representa la composición media de los

microorganismos (sugerida por Hoover y Porges en 1952) encargados de la biodegradación de la materia orgánica.

Cuando se ha consumido toda la materia orgánica disponible, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular. Este tercer proceso se conoce como respiración endógena, y se representa generalmente mediante la siguiente reacción.

Respiración endógena.



El aporte de oxígeno para el desarrollo de las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena se efectúa introduciendo, generalmente, aire en los recipientes en que se llevan a cabo estas reacciones con la ayuda de blowers o sopladores que mediante sistemas conocidos como difusores de aire. Los recipientes o estructuras donde se llevan a cabo estas reacciones se conocen como reactores biológicos o cubas de aireación.

Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores, como consecuencia de las reacciones de síntesis, tienden a unirse formando flóculos, agregados de mayor densidad que el líquido circundante, agregados conocidos como lodos o fangos, y en cuya superficie se va adsorbiendo la materia en forma coloidal.

Para la separación de los lodos o fangos, el contenido de los reactores biológicos denominado licor de mezcla, se conduce a una etapa posterior de sedimentación (decantación o clarificación secundaria), donde se consigue la separación de los lodos de los efluentes depurados por la acción de la gravedad.

Una fracción de los lodos decantados se purga como lodos en exceso, mientras que otra porción se recircula al reactor biológico para mantener en él una concentración determinada de microorganismos. El proceso descrito anteriormente se conoce como lodos activados.

### **Tratamiento Terciario (Alianza por el agua, 2008).**

Los tratamientos terciarios conocidos también como tratamientos avanzados o complementarios permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos sin mayores riesgos o puedan ser reutilizados.

La eliminación de materia particulada y coloidal presente en los efluentes depurados puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos como coagulación-floculación y posteriormente la etapa de separación mediante decantación o filtración.

Para la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, se recurre con mayor frecuencia al empleo de procesos biológicos. No obstante, en el caso del fósforo los procesos de precipitación química, empleado sales de hierro y de aluminio, continúan siendo los de mayor aplicación.

En la eliminación biológica de nitrógeno se opera de forma secuencial, bajo condiciones oxicas y anóxicas, que dan como resultado final su liberación a la atmósfera, en forma de nitrógeno gaseoso.

La eliminación biológica del fósforo puede llevarse a cabo si se combinan reactores que operen bajo condiciones anaerobias, oxicas y anóxicas, obteniendo como resultado fósforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso. Combinando los procesos anteriores también es posible la eliminación conjunta de ambos nutrientes.

Con relación a la desinfección de los efluentes depurados, si bien el cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante más utilizado en el campo de las aguas residuales, pero que debido a la aparición de normas medioambientales que piden como requisitos bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de la dechloración o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos, tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el empleo de membranas .

### 3. 4 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

Durante el tratamiento de las aguas residuales se genera además de agua tratada, otro subproducto a tener muy en cuenta: los lodos.

La operación individual más complicada y costosa en una planta puede ser, si se lleva a cabo en forma satisfactoria, el tratamiento y disposición de los lodos. El lodo está constituido por materiales de las aguas residuales crudas que se sedimentan y por sólidos producidos en los procesos de tratamiento.

Las cantidades de lodo consideradas son significativas. En el tratamiento primario pueden ser 0.25 a 0.35% del volumen de las aguas residuales tratadas; 1.5 a 2.0% si se utiliza el proceso de lodos activados y 1.0% adicional si se aplican sustancias químicas para la remoción de fósforo. Teniendo en cuenta que aproximadamente el 97% de los lodos retirados del proceso de tratamiento es agua, el tratamiento de lodos consiste en la separación de esa gran cantidad de agua de los residuos sólidos. El agua separada debe regresar al sistema de tratamiento de agua residual. (Valdez, E. C. y Vázquez González, A. B., 2003)

#### 3. 4. 1. Procesos básicos para el tratamiento de lodos

**Dentro de los procesos básicos podemos mencionar:**

- a. Espesamiento:** En esta etapa se busca incrementar la concentración de lodos mediante la eliminación de la mayor cantidad posible de agua presente en ellos, utilizando habitualmente el efecto de la gravedad o la flotación.
- b. Estabilización:** Busca la conversión de sólidos orgánicos para evitar su putrefacción. La estabilización de lodos puede llevarse a cabo mediante:



- i. Digestión aerobia o anaerobia: con esto se elimina cerca del 40-50% de la materia orgánica presente en el lodo. (Alianza por el agua, 2008)
  - ii. Estabilización química: se realiza mediante la elevación del pH por adición de cal.
  - iii. Tratamiento térmico: en este proceso los lodos son colocados en un depósito donde se eleva la temperatura (260°C), convirtiéndolo a formas más estables.
- c. Acondicionamiento:** En esta etapa se busca mejorar la deshidratación de los lodos, mediante la adición de productos químicos, facilitando la eliminación de agua.
- d. Deshidratación:** En esta fase se busca eliminar parte del agua contenida en los lodos, transformándolos en sólidos fácilmente manejables y transportables para su disposición final. Los lodos deshidratados presentan entre un 20-25% de materia seca. Los métodos de deshidratación comúnmente utilizados son: centrifugación, filtros banda o filtros prensa y secado térmico.

### **3. 4. 2. Usos de lodos tratados**

El lodo tratado es aprovechado de diferentes maneras, Blandón (2010) expone algunos usos que se pueden emplear para el lodo tratado:

#### **1. Agrícola y forestal**

Los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales constituyen una fuente de materia orgánica alternativa a otros insumos orgánicos utilizados

tradicionalmente como abonos. La materia orgánica de un suelo es el componente más global que contribuye significativamente a mantener su capacidad productiva; influye en características físicas tales como porosidad, estado de agregación de las partículas, densidad aparente, etc., y proporciona una reserva estable de nutrientes para las plantas y organismos en el medio edáfico, modificando ciertas propiedades químicas de éste durante su mineralización. Los suelos agrícolas y forestales sufren un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica (MO) debido a diversas razones (excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado, etc.), ocasionando una disminución de la fertilidad natural. Como consecuencia de ello se presentan problemas ambientales tales como mayor erosión, poca infiltración y menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo radical y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas benéficas. En este sentido, han reportado que el uso de lodos como fuente de materia orgánica mejora las propiedades tanto físicas como químicas del suelo agrícola en cuanto a incrementos en los niveles de materia orgánica, disminución de la densidad aparente, mayor formación y estabilidad de agregados, mejor retención de humedad, incremento en el tamaño de poros, etc. Además, aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes químicos. Los lodos han sido utilizados en silvicultura para incrementar la productividad forestal, para reforestar y para estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería, la construcción, los incendios, el sobrepastoreo, erosión u otros factores, Junto a los beneficios del uso de los lodos, también debe considerarse los riesgos que representan estos materiales, ya que cada material es diferente y puede contener altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT) para los cultivos o para los consumidores de los productos de los mismos. La posibilidad de contaminar suelos y aguas subterráneas constituye su principal limitante, de ahí que su uso no puede ser indiscriminado sin una adecuada planeación y supervisión. Una utilización incorrecta de lodos puede ocasionar efectos indeseables sobre el suelo.

## **2. Recuperación de suelos degradados y recuperación de paisajes**

En regiones sujetas a procesos de desertificación o pérdida de cobertura vegetal o suelos, derivados de causas naturales o antrópicas. Para recuperación de áreas que fueron sometidas a extracción minera o en aquellas sujetas a pérdida de suelos superficiales debido a obras de infraestructura.

### **Otros usos**

Comprende los usos no contemplados en los numerales anteriores y para los que se deben establecer regulaciones específicas: elaboración de elementos para la construcción, utilización como material combustible para recuperación de energía, entre otros.

#### **1. Fabricación de ladrillos**

Existen estudios sobre la valorización de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en la fabricación de ladrillos. La introducción de lodos en el proceso resulta muy atractiva porque determinados materiales cerámicos disponen de gran capacidad de inertización de metales pesados. Durante la cocción, los compuestos orgánicos del lodo: celulosa, lignina, grasas, microorganismos patógenos, etc. se destruyen y en su lugar se crean unos poros cerrados que darán lugar a sus propiedades de aislamiento térmico. Los componentes inorgánicos (arcillas, tierras, metales pesados, etc.), quedan insertados en la matriz vítrea del cuerpo cerámico y, por tanto, inmovilizados. En general la introducción de lodos en matrices cerámicas tiene aspectos positivos energéticamente, pudiéndose apuntar los siguientes:

- a. Importante ahorro energético durante la cocción cerámica en función de la presencia de materia combustible en la matriz cerámica aportada por los lodos (en cualquier caso, el balance total energético debe tener en cuenta también el proceso de secado).

- b. Ahorro del consumo de agua por la aportación de los lodos (contienen un promedio del 70 % de humedad).
- c. Poder calorífico de los lodos, que aproximadamente se sitúa en las 3400 kcal/kg. El máximo porcentaje de lodos que se podría mezclar con la arcilla cerámica se sitúa en torno al 40 %, aunque con esta cantidad, la adherencia de la mezcla es pobre y la textura superficial del ladrillo irregular. Así, las proporciones óptimas están entre el 10 % y el 20 %.

## **2. Fabricación de hormigón**

Se han realizado estudios sobre la utilización de lodos secos de depuradora en el hormigón, siendo uno de ellos realizado en una planta de España. En dicho estudio se realizaron muestras de adoquines con un 2 % de lodo seco sobre peso de cemento y se determinaron las propiedades de dicho producto comparadas con el producto sin adición del lodo. El estudio concluyó que la adición de lodos de depuradoras al hormigón puede suponer una disminución de la porosidad y de absorción y un aumento de la resistencia mecánica, lo que lleva a que la utilización de los lodos en los adoquines aumente la durabilidad de estos últimos.

## **3. Utilización de cenizas**

El hecho de adicionar ciertos porcentajes de cenizas producto de la incineración de lodos digeridos que varían entre un 5 y un 50 %, genera en los ladrillos ciertas propiedades variables que pueden afectar positivamente las cualidades de los mismos haciéndolos más porosos y menos densos favoreciendo sus cualidades como aislante térmico y acústico, pero por otro lado también afecta su resistencia al esfuerzo

mecánico debido a una mayor porosidad se reduce su resistencia afectando negativamente las utilidades dichos ladrillos.

### 3.5 PARÁMETROS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

#### 3.5.1. Parámetros de diseño

Definir los parámetros de diseño es importante para el establecimiento y control de la calidad del agua de descarga que se desea obtener. A partir de la naturaleza del afluente podremos tener una noción de los elementos presentes en el agua.

La siguiente tabla muestra la definición e importancia de los diferentes parámetros tales como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, Temperatura, Sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, aceites y grasas, Coliformes fecales, Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM), y caudal.

**Tabla 3.1 Parámetros de diseño, definición e importancia**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Importancia</b>
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Es la cantidad de oxígeno (normalmente medida mg/l) necesaria para la oxidación de las sustancias reductoras que están presentes en una muestra de agua.	A partir de este parámetro se puede determinar el grado de contaminación del agua y puede utilizarse para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Continúa

**Tabla 3.1 Parámetros de diseño, definición e importancia (continuación)**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Importancia</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	La DBO indica la cantidad de oxígeno (en mg/L) utilizado por los microorganismos en la estabilización del agua residual durante 5 días (de aquí conocida como DBO5) a una temperatura de 20 ° C.	Permite conocer la concentración de la materia orgánica (cantidad de Nitrógeno y Oxígeno), que ayuda a mantener la actividad biológica en los procesos de tratamiento de aguas
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	Son una fracción de los sólidos totales retenidos en un filtro con un tamaño específico; medida después de que se ha secado a una temperatura específica.	Determina la estabilidad biológica de fangos de aguas residuales. (Formación de depósitos de lodos en los medios receptores.)
<b>Sólidos sedimentables</b>	Son sólidos suspendidos que se expresan como mililitros por litro, los cuales se sedimentan fuera de la suspensión dentro de un rango de tiempo específico.	
<b>Aceites y grasas</b>	Sustancias incapaces de mezclarse con el agua que permanecen en su superficie dando lugar a flotantes. Su procedencia puede ser tanto doméstica como industrial.	Son causantes del fenómeno óptico iridiscencia, interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de degradar

*Continúa*

**Tabla 3.1 Parámetros de diseño, definición e importancia (continuación)**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Importancia</b>
<b>Temperatura</b>	La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general.	Afecta y altera la vida acuática, acelerando las reacciones químicas, reduce la solubilidad de los gases, intensifica sabores y olores.
<b>pH</b>	Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno.	Altera la biota de las fuentes receptoras, y puede ser fatal para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor.
<b>Caudal</b>	Cantidad de agua residual por unidad de tiempo.	Permite elegir el sistema de tratamiento a adoptar, y el dimensionamiento de las unidades.

Continúa

**Tabla 3.1 Parámetros de diseño, definición e importancia (continuación)**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Importancia</b>
<b>Coliformes fecales</b>	Es un subgrupo de bacterias Coliformes totales, las cuales indican la presencia de contaminación de heces humanas o de animales.	Permiten determinar microorganismos patógenos, que provocan enfermedades en los seres humanos.
<b>Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM)</b>	Los detergentes, agentes tensos activos o agentes superficiales activos, son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos.	Favorecen la formación de espumas, inhiben la actividad biológica, disminuyen la solubilidad del oxígeno.

### **3. 5. 2. Consideraciones de diseño (Romero, J. A,1999)**

Un sistema de tratamiento de aguas residuales de diseño y eficiencia excelente, pero con costos de operación y mantenimiento tan altos que su propietario no tiene capacidad de sufragar, es mejor no construirlo. La experiencia indica que el costo inicial y los costos de operación y mantenimiento constituyen el factor primordial al adoptar una solución de control de contaminación hídrica exitosa. Por otra parte, un sistema de tratamiento de baja confiabilidad no garantiza la producción de un efluente de la calidad requerida y convierte la operación del sistema en un problema que obliga a poner atención y destinar recursos excesivos a esta actividad. La disponibilidad de



personal técnico altamente calificado y de suficientes recursos económicos es prerequisites para la adopción de diseños con equipos mecánicos complejos, consumos permanentes de energía y niveles de control y automatización altos. Finalmente, la flexibilidad de los procesos para aceptar modificaciones futuras, que aseguren una optimización factible, mediante la adición de equipos o tecnología innovadora, es un factor de gran influencia sobre el diseño.

En resumen, los principales factores de importancia en la selección de procesos y operaciones de tratamiento son los siguientes:

- a. **Factibilidad:** El proceso debe ser factible y, por consiguiente, compatible con las condiciones existentes de dinero disponible, terreno existente y aceptabilidad del cliente o de la comunidad propietaria del mismo.
- b. **Aplicabilidad:** El proceso debe ser capaz de proveer el rendimiento solicitado, es decir, estar en capacidad de producir un efluente con la calidad requerida para el rango de caudal previsto.
- c. **Confiabilidad:** El proceso debe ser lo más confiable posible, esto es, que sus condiciones óptimas de trabajo sean difíciles de alterar, que tenga capacidad de soporte de cargas y caudales extremos y mínima dependencia de tecnología u operación compleja.
- d. **Costos:** El proceso ha de ser de costo mínimo. La comunidad o el propietario debe estar en capacidad de costear todos los compuestos del sistema de tratamiento, así como su operación y mantenimiento.
- e. **Características del afluente:** Estas determinan la necesidad de pretratamiento primario o tratamiento secundario, tipo de tratamiento (físico, químico, biológico o combinado), necesidad de neutralización o de igualamiento, así como el tamaño, cinética y tipo de reactor.

- f. **Procesamiento o producción de lodos:** La cantidad y calidad del lodo producido determina la complejidad del tratamiento requerido para su disposición adecuada. Procesos sin problemas de tratamiento y disposición de lodos son los ideales.
  
- g. **Requerimientos de personal:** Procesos sencillos requieren menos personal, y menor adiestramiento personal y, por lo tanto, son más ventajosos.

### **3. 6 NORMATIVA DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES**

Según el Art.7 del reglamento especial de agua residuales de El Salvador: Toda persona natural o jurídica, pública o privada, titular de una obra, proyecto o actividad responsables de producir o administrar aguas residuales y de su vertido a un medio receptor, en lo sucesivo denomina al titular, deberá instalar y operar sistemas de tratamiento para que sus aguas residuales cumplan con las disposiciones de la legislación pertinente y este reglamento. Por otra parte, este reglamento está amparado en la Ley de medio ambiente en el artículo 70, y tiene como finalidad la protección, el uso, gestión y manejo de las aguas.

En el Salvador los comités Nacionales de Reglamentación Técnica conformados con el Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC), son las instancias que se encargan de la elaboración de la RTS; la RTS 13.05.01:18, establece los límites permisibles que deben cumplir los parámetros de calidad de las aguas residuales y sus lodos, antes de ser incorporados a un cuerpo receptor (río, lago, laguna, quebrada, mar, u otro).

#### **3. 6. 1. Límites máximos permisibles**

El agua residual debe cumplir con los límites permisibles que se establecen en la RTS 13.05.01:18 y se mencionan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2 Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite permisible</b>
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/L	150
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/L	60
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	mg/L	60
<b>Sólidos Sedimentables (SS)</b>	mL/L	1
<b>Aceites y Grasas</b>	mg/L	20
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	Unidades de pH	6.0-9.0
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 mL	Reportar
<b>Caudal (Q)</b>	m <sup>3</sup> /dia	Reportar
<b>Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM)</b>	Mg/L	Reportar

Fuente: OSARTEC, 2018

## **CAPITULO IV. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.**

Realizar el muestreo de la manera correcta permitirá la obtención de muestras representativas que reúnan todas las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua que se desea analizar y así obtener un resultado confiable. Por lo cual, es de suma importancia planificar la forma en que debe realizarse.

### **4. 1 PLAN DE MUESTREO**

Establecer un plan de muestreo permitirá identificar aspectos importantes como: la posición de los puntos de muestreo, tipo de muestra (puntual o compuesta), la frecuencia, parámetros a analizar de acuerdo con la naturaleza del afluente, los procedimientos de muestreo, protocolos a seguir después de la toma de muestra, entre otras.

#### **4. 1. 1. Naturaleza de afluente**

La naturaleza del afluente se refiere al origen de las aguas residuales, de que proceso proviene o en otras palabras donde fue utilizada el agua que ingresa a la planta, a partir de esto se tendrá una idea de los componentes que pueden encontrarse en el agua y pensar que métodos de tratamiento se necesitarán para poder depurarla.

#### **4. 1. 2. Identificación del punto de muestreo**

Según la Norma Técnica Colombiana ISO-5667-1, idealmente, las muestras se deben tomar en líquidos turbulentos, bien mezclados, si se trata de flujos por conductos, siempre que sea posible, se debe inducir la turbulencia para favorecer la mezcla. Esto no se aplica a la recolección de muestras para la determinación de gases disueltos y materiales volátiles, cuya concentración se puede alterar debido a la turbulencia inducida.

La elección del lugar debe permitir que la muestra que se tome sea representativa del agua que se desea examinar.

#### 4. 1. 3. Frecuencia de muestreo

El Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua (RTS 13.05.01:18), señala la frecuencia mínima de muestreo (véase Tabla 4.1) y análisis de parámetros en aguas residuales de tipo ordinario que se vierten en un cuerpo receptor en base al caudal descargado.

**Tabla 4.1 Frecuencia de muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua**

Parámetro	Entrada	Salida	Caudal del efluente m <sup>3</sup> / día	
			≤ 50	> 50
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	X	X	Semestral	Trimestral
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	X	X	Semestral	Trimestral
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	X	X	Semestral	Trimestral
<b>Sólidos Sedimentables (SS)</b>		X	Trimestral	Semanal
<b>Aceites y Grasas</b>		X	Semestral	Trimestral
<b>Potencial de Hidrógeno (PH)</b>		X	Trimestral	Semanal
<b>Coliformes fecales</b>		X	Semestral	Trimestral
<b>Caudal (Q)</b>		X	Diario	Diario
<b>Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)</b>		X	Semestral	Trimestral

Fuente: OSARTEC, 2018

#### 4. 1. 4. Tipo de muestra

Definición de muestreo simple y compuesto, según Reglamento técnico salvadoreño:

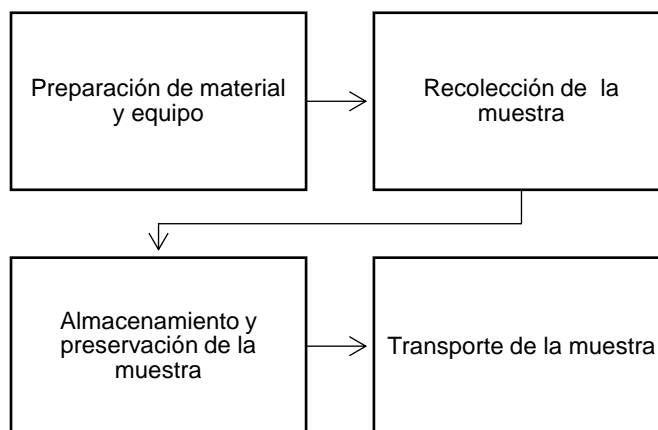
- a. **Muestreo Simple:** Muestra que se toma en el punto de descarga, en un caudal continuo o discontinuo en operación normal, que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para llevar a cabo los análisis necesarios que permitan conocer su composición.
- b. **Muestra compuesta:** Combinación de muestras simples que han sido mezcladas en proporciones definidas de acuerdo al caudal, volumen total y la frecuencia de generación y operación, a fin de obtener un resultado promedio representativo de sus características. Al realizar la toma de muestras para análisis microbiológicos estas deben ser simples, para análisis fisicoquímicos se aconsejan muestras compuestas.

Se deben tomar muestras compuestas de agua residual en el mismo intervalo de tiempo a la entrada y salida del sistema por un periodo mínimo de 3 horas cada 30 minutos.

#### 4. 1. 5. Procedimiento de toma de muestra

La condición primordial para efectuar un análisis de calidad es realizar el procedimiento de muestreo de la forma apropiada. La siguiente Figura muestra la manera en la que se procederá para la toma de muestra de aguas residuales, iniciando con la preparación de los materiales y equipo de muestreo, recolección de muestra, almacenamiento y transporte hacia el lugar donde se realizará el análisis.

A continuación, se mencionan los pasos para la toma de muestras:



**Figura 4.1 Diagrama de pasos para la toma de muestras.**

## **Preparación del material y equipo de muestreo**

### **a. Recipiente**

#### **i. Análisis fisicoquímicos**

Se utilizan recipientes de vidrio y plástico (polietileno, policarbonato o teflón). La capacidad debe ser de 1 litro como mínima y con tapa rosca que de seguridad al cierre.

#### **ii. Análisis microbiológicos**

Los recipientes deben ser de plástico o vidrio hecho de borosilicato esterilizable, boca ancha con tapa protectora y cierre hermético. Es importante dejar un espacio para que los microorganismos aerobios puedan sobrevivir, por tal razón, deben tener una capacidad mínima de 300mL, para tomar muestras de 250mL.

Equipo necesario:

- i. Guantes
- ii. Mascarilla
- iii. Beaker de 250 ml
- iv. Termómetro o termocupla
- v. pHmetro de campo
- vi. Nevera portátil

vii. Etiqueta para rotular recipiente (véase Anexo 1)

### **Recolección de la muestra**

Al momento de tomar las muestras en el canal o colector de agua, se recomienda que se realicen en lugares donde el flujo sea turbulento para garantizar un buen mezclado, se debe considerar las profundidades cuando el flujo sea de poca turbulencia, esto es porque se determinará el contenido de grasas y aceites, se debe asegurar la representatividad a la hora de realizar el muestreo.

Pasos para la toma de muestra:

1. Elegir el sitio de muestreo
2. Colocarse el equipo de protección necesario (guantes, mascarilla y traje de protección de ser necesario)
3. Tomar el recipiente muestreador debidamente identificado
4. Enjuagar varias veces el recipiente con el agua a analizar antes de tomar la muestra
5. Introducir el recipiente por completo al agua residual y extraer la muestra
6. Cierre el recipiente, asegurando un cierre hermético
7. Seguidamente colocar en nevera portátil

Debe presentarse un informe del muestreo realizado por cada punto a muestrear (véase Anexo 2).

### **Almacenamiento y preservación de la muestra**

La técnica de preservación más utilizada es enfriamiento, la cual consiste en mantener las muestras a una temperatura de 1°C-5°C, deben preservarse después del muestreo por la actividad biológica del agua residual.

Las muestras se almacenarán en una nevera portátil en la cual se trasladarán al laboratorio.



El tiempo máximo de almacenamiento para los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, SS, SST, pH y Temperatura son de 24 horas; SAAM, aceites y grasas de 48 horas.

### Transporte de la muestra

El tiempo entre la toma de muestras y el análisis debe ser el mínimo, y así evitar que la muestra pase el tiempo de preservación recomendado. Las muestras deben mantenerse herméticamente y así se evitará derrames en el traslado.

Asegurarse de conservar la representatividad en el camino hacia el laboratorio.

## 4.2 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Los métodos utilizados para monitorear la calidad del agua en estudio se mencionan en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Métodos utilizados para la determinación de parámetros de la calidad del agua.**

Parámetro	Método
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Dicromato potásico
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Técnica de dilución
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Filtración y diferencia de peso
Sólidos Sedimentables (SS)	Gravimétrico
Aceites y Grasas	Extracción Soxhlet
Potencial de Hidrógeno (PH)	Potenciometría
Coliformes fecales	Técnica de filtración por membrana
Caudal (Q)	Volumétrico
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	Espectrofotometría

## 4.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS

### 4.3.1. Medición del caudal

#### Materiales y equipos

- i. Cronómetro
- ii. Recipiente de 1L.

Pasos para medición de caudal por método volumétrico:

1. Se debe tener el recipiente y el cronómetro a la mano
2. Coloque el recipiente en el agua y mida con el cronómetro el tiempo de llenado
3. Cuando el recipiente este lleno o a un volumen que se haya decidido llenar pare el cronómetro
4. Tome la lectura del cronómetro
5. Las mediciones se repiten 5 veces más, para obtener un resultado más preciso
6. El caudal resulta de dividir el volumen del agua que se recoge entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen

$$Q=V/T$$

(Ecuación 4.1)

Donde:

Q: Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ ).

V: Volumen coleccionado ( $m^3$ ).

T: Tiempo transcurrido (Segundos).

### 4.3.2. Medición de temperatura

La medición se hará in- situ, debe verificarse el correcto funcionamiento del equipo.

## **Materiales y equipo**

- i. Termopila o termómetro (algunos medidores de pH traen incluidos medidores de temperatura)
- ii. Recipiente limpio

## **Procedimiento**

1. Tomar una cantidad de muestra del cuerpo de agua en un recipiente.
2. Introducir el medidor de temperatura cuidadosamente.
3. Esperar que se estabilice el valor y tomar la lectura.

### **4. 3. 3. Medición de PH**

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógenos, se define como el logaritmo del inverso de la concentración de iones hidrógenos. Para la medición que se realizará, se debe verificar el buen funcionamiento del pHmetro con anticipación.

la medición se realizará in situ.

## **Aparato**

- i. pHmetro

A continuación, se enumeran los pasos a seguir.

1. Tomar una muestra del cuerpo de agua en un recipiente.
2. Introduzca directamente el pHmetro a la muestra.
3. Esperar que se estabilice el valor y tomar lectura.

### **4. 3. 4. Sólidos Suspendidos Totales (Serveriche Sierra, C. A y Otros, 2013).**

La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al

vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales.

Para materiales, equipos, procedimiento y cálculos (véase Anexo 3).

#### **4. 3. 5. Sólidos Sedimentables (Serveriche Sierra, C. A y Otros, 2013).**

Sólidos sedimentables es la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un período de tiempo. Pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (mL/L) o de una masa (mg/L), mediante volumetría y gravimetría respectivamente.

Para materiales, equipos, procedimiento y cálculos (véase Anexo 4).

.

#### **4. 3. 6. Determinación de grasas y aceites**

Para la determinación de la cantidad de grasas presentes en el agua a analizar, se utiliza el método de Soxhlet, en el cual el componente de interés son las grasas y la propiedad en que se basa para su extracción es la solubilidad.

En el Anexo 5, se indica la preparación de estándares. Para materiales, equipos, procedimiento y cálculos ver Anexo 6.

.

### **4. 4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

#### **4. 4. 1. Demanda Química de Oxígeno (Beascoechea, E. d ,2001)**

Principio del método del dicromato potásico

En condiciones definidas, ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de dicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y de sulfato de mercurio. El exceso de dicromato potásico se valora con sulfato de hierro y amonio.

Para reactivos, procedimiento y cálculos ver Anexo 7.

#### **4. 4. 2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (Beascochea, E. d ,2001)**

Esta prueba determina los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas, para su degradación biológica. Expresa el grado de contaminación de un agua residual por materia orgánica degradable por oxidación biológica.

Para reactivos y procedimiento (véase Anexo 8).

#### **4. 4. 3. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM) (Rodriguez, 2007)**

Las sustancias activas al azul de metileno (SAAM) un colorante catiónico, transfieren el azul de metileno desde una solución acuosa a un líquido inmiscible en equilibrio. Esto ocurre durante la formación de un par iónico entre el anión (SAAM) y el catión azul de metileno. La intensidad del color resultante es una medida de las sustancias activas al azul de metileno. El método es relativamente simple y preciso, comprende tres extracciones sucesivas desde un medio acuoso ácido con exceso de azul de metileno a una fase orgánica de cloroformo, seguida de la lectura del color azul de dicha fase orgánica mediante espectrofotometría a 652 nm. Para consultar la preparación de estándares véase Anexo 9. Para aparatos, reactivos, equipos, procedimiento y cálculos véase Anexo 10.

## **4.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS**

### **4.5.1. Coliformes fecales (DINAMA, 1996)**

El principio de esta técnica consiste en la filtración de un volumen medido de muestra a través de una membrana de nitrato de celulosa y su incubación en un medio de cultivo selectivos a 44.5 °C. Este medio selectivo y la temperatura de incubación disminuyen el desarrollo de bacterias no Coliformes que afectarían negativamente el crecimiento de los Coliformes fecales.

Para equipos y materiales, procedimiento y cálculos ver Anexo 11.

## **4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Al realizar el estudio al agua, se deben comparar los resultados de los análisis (véase Anexo 12) con los referenciados en la Tabla 3.2 (Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor) y de esta manera identificar los parámetros que se encuentran fuera del rango permisible que exige la norma.

Como puede observarse en la Tabla 4.3, se muestran los resultados de los análisis de DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura, oxígeno disuelto y caudal; que se realizaron al efluente del sistema de tratamiento de aguas del municipio.

En los cuales el único parámetro que se encuentra dentro de la norma fue el pH.

**Tabla 4.3 Resultado de análisis físico-químicos realizados al efluente de la PTAR del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limite permisible De RTS 13.05.01:18</b>	<b>Observación</b>
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	571	150	El resultado se encuentra fuera del rango permisible por la norma.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	250	60	El resultado se encuentra fuera del rango permisible por la norma.
Sólidos Sedimentables	mL/L	8	1	El resultado se encuentra fuera del rango permisible por la norma.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	187.6	60	El resultado se encuentra fuera del rango permisible por la norma.
pH (Medido en Campo)	-	6.95	6.0-9.0	El resultado se encuentra dentro del rango permisible por la norma.
Temperatura (Medido en Campo)	°C	31.6	No especifica	La norma no especifica el límite permisible para este parámetro.
Oxígeno disuelto	mg/L	0.57	No especifica	La norma no especifica el límite permisible para este parámetro.
Caudal	$\frac{m^3}{día}$	1.04	No especifica	La norma no especifica el límite permisible para este parámetro.

El índice de biodegradabilidad es un parámetro importante al momento de elegir el sistema de tratamiento de un afluente, ya que permite conocer una aproximación de la materia orgánica fácil y lentamente biodegradable que se encuentra en el agua.

$$\frac{\text{DBO}}{\text{DQO}} = 0.44$$

**(Ecuación 4.2)**

Según Romero, J. A. (1999) el coeficiente de DBO/DQO para aguas domésticas brutas típicas se encuentra en el intervalo de 0.4-0.8.

Por lo cual, se verifica el resultado práctico con el resultado teórico.



## **CAPITULO V. PROPUESTAS DE REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

### **5.1 AIREACIÓN**

#### **5.1.1. Generalidades**

Aireación es el proceso por el cual el aire se coloca en contacto íntimo con el agua, con el fin que exista difusión del oxígeno del aire a el agua, este proceso lo podremos ilustrar como si el aire le donara oxígeno al agua por medio del contacto íntimo y otros factores que ayudan a la difusión, en un proceso que es realizado gracias a que la concentración del oxígeno que es mayor en el aire, lo cual el vector concentración se dirige del aire al agua hasta encontrar el equilibrio, en otras palabras busca igualar la concentración de oxígeno en el agua con la del aire, hay factores que ayudan a la difusión en la aireación, como lo son: la temperatura y el área de contacto, pero dichos factores se tocarán a fondo en el apartado de diseño.

Las funciones más importantes de la aireación según (Rojas, J. A, 1999) son:

1. Transferir oxígeno al agua para aumentar el Oxígeno Disuelto
2. Disminuir la concentración de  $CO_2$
3. Disminuir la concentración de  $H_2S$
4. Remover gases como metano, cloro y amoníaco
5. Oxidar hierro y manganeso
6. Remover compuestos orgánicos volátiles
7. Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

### **5.2 PROPUESTA A: TECNOLOGÍA CONVENCIONAL**

Los aireadores son una tecnología comúnmente utilizada en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

### 5. 2. 1. Aireadores sumergibles

A continuación, se mostrarán los cálculos para la determinación del número de aireadores que se requieren en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lorenzo.

#### a. Cálculo de número de aireadores en laguna de oxidación por profundidad máxima

Tomaremos en cuenta los aireadores sumergibles APEC serie JA.

**Tabla 5.1 Datos de aireadores APEC serie JA 60 Hz**

Modelo	Potencia		Descarga (inch)	Nominal			Tanque de aireación		
	HP	kW		Aire (m3/h)	OTR (kg-O2/h)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)
<b>JA-05</b>	0.5	0.37	3	5	0.12- 0.23	1.5	2	1.8	2
<b>JA-10</b>	1	0.75	3	10	0.3 - 0.5	2	3	2.5	3
<b>JA-20</b>	2	1.5	3	22	0.9 - 1.1	2.5	4	3.5	3.5
<b>JA-30</b>	3	2.2	3	40	1.9 - 2.2	3	5	4.5	4
<b>JA-50</b>	5	3.7	3	70	2.8 - 3.3	3.5	6	5	5
<b>JA-75</b>	7.5	5.5	3	100	4.2 - 4.8	4	7	6	6

Fuente: (APEC PUMP, s.f)

Se eligió el modelo JA-75 para una profundidad de 4 m para asegurarnos de cubrir la altura del líquido considerando que el agua alcanza solamente los 3.5 m de profundidad en la laguna de oxidación.

### b. Cálculo del número de aireadores para la parte lateral

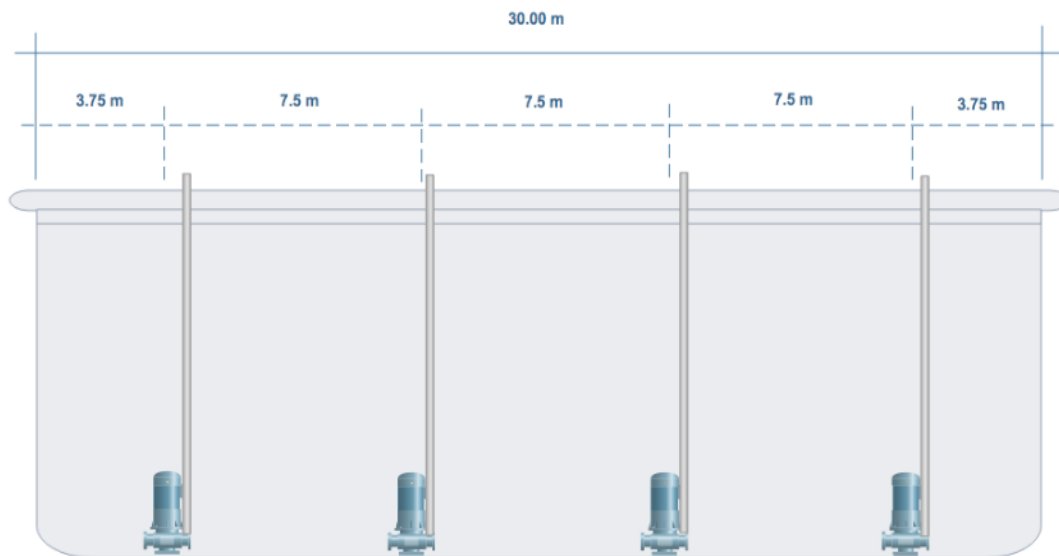
Se tiene que la longitud total de la laguna de oxidación es de 30 m, para calcular el número de aireadores visto desde una perspectiva lateral dividimos esa longitud entre la longitud obtenida de la tabla 5.1 de acuerdo al modelo seleccionado lo cual es 7 m, en caso de tener decimales como resultado, este se aproxima al valor entero más cercano:

$$\text{N}^\circ \text{ de aireadores} = \frac{30 \text{ m}}{7} = 4.28 \cong 4 \text{ aireadores} \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

### c. Cálculo de separación de aireadores

$$\text{Separación entre aireadores} = \frac{30 \text{ m}}{4} = 7.5 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

Cada aireador debe ser colocado a una distancia de 7.5 m entre sí y distribuido según se visualiza en la Figura 5.1, con el fin de garantizar simetría.



**Figura 5.1 Distribución de los aireadores sumergibles en laguna de oxidación para parte lateral.**

**d. Cálculo del número de aireadores de laguna de oxidación para parte frontal**

Se utilizó la base de la laguna de oxidación para temas de cálculo y el valor de la longitud utilizada anteriormente y obtenido de Tabla 5.1 (7m).

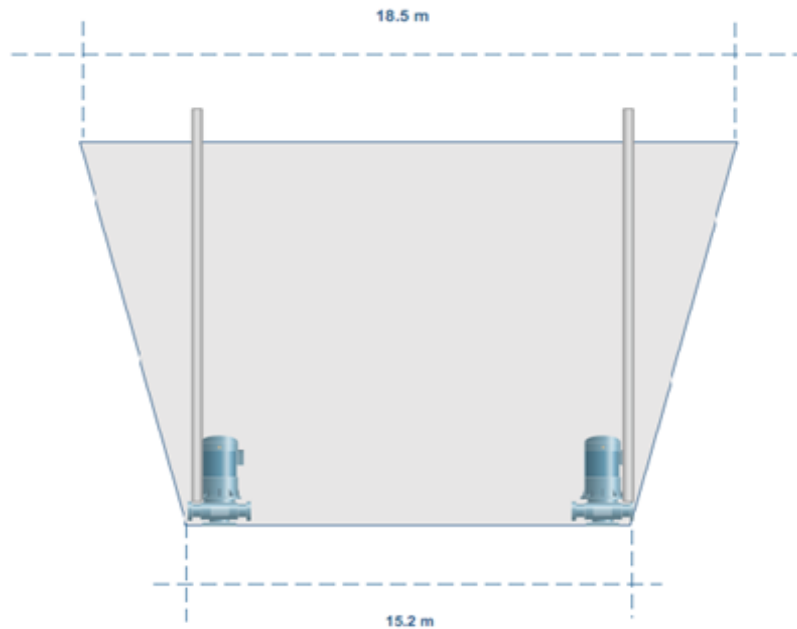
$$\text{Nº de aireadores} = \frac{15.2 \text{ m}}{7} = 2.17 \cong 2 \text{ aireadores} \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

De igual manera que para la parte lateral aproximamos el valor a un número entero y obtenemos como resultado 2 aireadores necesarios para la vista frontal.

**e. Cálculo de la distancia de separación en parte frontal**

$$\text{Nº de aireadores} = \frac{15.2 \text{ m}}{2} = 7.6 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

En la siguiente Figura se muestra la distribución frontal de los aireadores.



**Figura 5.2 Distribución de los aireadores sumergibles en laguna de oxidación para parte frontal.**

Lo ideal es instalar los aireadores lo más cercano posible a la pared de la laguna de oxidación para que sea más fácil su extracción e instalación para efectos de mantenimiento durante su operación.

Vale la pena destacar que se puede usar indistintamente el valor de longitud o el valor de anchura para este cálculo debido que seccionamos la longitud de la laguna de oxidación en partes más pequeñas para efectos de cálculo y efecto de reducir la cantidad de aireadores, posteriormente se calculará la cantidad de oxígeno suministrada en comparación con la DQO total en el volumen de la laguna de oxidación.

**Con los datos anteriores podemos calcular el número de aireadores necesarios por laguna de oxidación de la siguiente manera:**

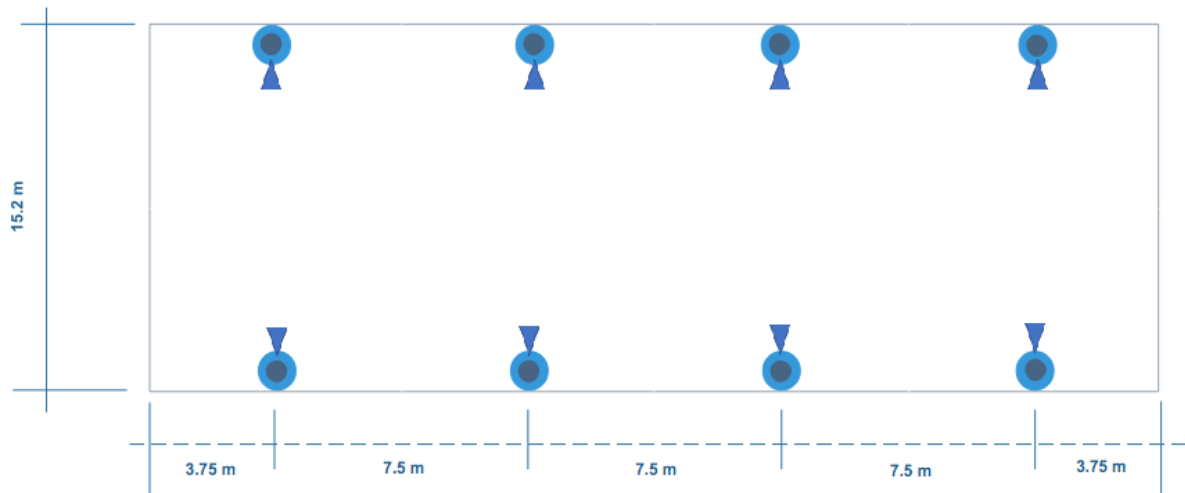
**Nº de aireadores totales= Nº aireadores laterales x Nº de aireadores frontales**

**(Ecuación 5.5)**

**Nº de aireadores totales=4 x 2=8 aireadores**

**(Ecuación 5.6)**

**La distribución final de los aireadores resultantes por laguna se muestra en la Figura siguiente:**



**Figura 5.3 Distribución de aireadores sumergibles en laguna de oxidación vista en planta.**

Se obtienen las características de los aireadores en base al modelo seleccionado para nuestro caso el flujo de aire que cada equipo puede suministrar hasta 100 m<sup>3</sup> de aire/h y tiene un rango de transferencia de oxígeno (OTR) de 4.2 a 4.8 kg de O<sub>2</sub>/h.

Se hace una comparación entre el oxígeno teórico total que el número de aireadores calculados puede suministrar vs la DQO total por volumen de laguna.

Se considera que cada laguna de oxidación tiene forma prisma trapezoidal, ambas con volumen de 1,769.25 m<sup>3</sup>. (Véase el Anexo 13).

En la Tabla 5.2 se muestran los datos del oxígeno suministrado por el sistema de ocho aireadores sumergibles por horas de trabajo, para conocer los cálculos (véase 14).

**Tabla 5.2 Datos de O<sub>2</sub> suministrado por el sistema de aireadores sumergibles por horas de trabajo en laguna de oxidación.**

Horas de trabajo	O <sub>2</sub> teórico suministrado por sistema. (kg de O <sub>2</sub> /h)	Horas de trabajo	O <sub>2</sub> teórico suministrado por sistema. (kg de O <sub>2</sub> /h)	Horas de trabajo	O <sub>2</sub> teórico suministrado por sistema. (kg de O <sub>2</sub> /h)
1	36	11	396	21	756
2	72	12	432	22	792
3	108	13	468	23	828
4	144	14	504	24	864
5	180	15	540	25	900
6	216	16	576	26	936
7	252	17	612	27	972
8	288	18	648	28	1008
9	324	19	684	29	1044
10	360	20	720	30	1080

De acuerdo a cálculos (véase anexo 14) la DQO total por volumen utilizado en laguna de oxidación es de 0.571 kg de O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, obteniendo 1,010.24kg de O<sub>2</sub> necesarios para ese volumen, lo cual sobrepasa teóricamente con el sistema propuesto en un tiempo de operación de 29 horas.

A continuación, en la Tabla 5.3 se muestran las especificaciones del aireador seleccionado; para las partes que integran el aireador véase Anexo 15:

**Tabla 5.3 Especificaciones del aireador seleccionado**

	<p><b>Modelo:</b> JA-75</p>
	<p><b>Diámetro de tubería:</b> 3"</p>
	<p><b>Potencia:</b> 5.5 kW</p>
	<p><b>Peso sin cable:</b> 57.2 kg</p>
	<p><b>Máxima profundidad del impulsor:</b> 4m</p>
	<p><b>Volumen de aire:</b> 100 m<sup>3</sup>/h</p>
	<p><b>OTR:</b> 4.2-4.8 kg O<sub>2</sub>/h</p>

Fuente: APEC PUMP, s.f

### 5.3 PROPUESTA B: TECNOLOGÍA NO CONVENCIONAL

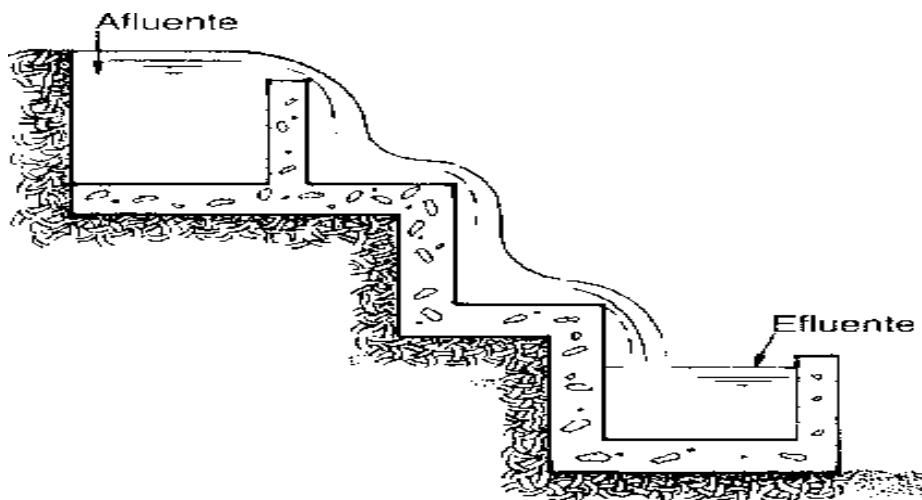
Son tecnologías que no se ven comúnmente en las plantas de tratamiento, pero traen beneficios económicos en cuanto a su operación y mantenimiento.

#### 5.3.1. Aireador de cascada tipo escalera.

Se propondrá instalar un sistema de aireación por gravedad haciendo uso de cascadas para la transferencia de oxígeno al agua y mantendrá la uniformidad de oxígeno en el líquido y la neutralización de olores, la aireación será inducida por gravedad aprovechando la geografía del terreno donde se encuentra ubicada la Planta. El sistema aireador tipo cascada está diseñado para airear el agua mediante



escalones de concreto (véase Figura 5.4), en forma similar a la que ocurre en un río turbulento.



**Figura 5.4** Aireador de tipo cascada.

Fuente: ROJAS, J. A, 1999

#### **a. Tanque de recolección de agua oxigenada.**

El tanque de recolección realiza la función de recoger el líquido oxigenado mediante la aireación producida por el aireador de cascada para poder surtir al siguiente aireador con un caudal constante.

### **5. 3. 2. Consideraciones Generales de Diseño.**

El objetivo básico del diseño de una planta de purificación de agua es el de integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento para que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable. Por lo tanto, la planta de purificación debe tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentación indispensables.

**5. 3. 3. Condiciones para Diseño de Aireadores en Cascada  
(Muñoz García, H. F., y Oliverios Vargas, K. E. 2019).**

El aireador de cascada produce una pérdida de energía grande, pero es muy sencillo. Autores como Larry E. Overman, señalan que con una cascada y 40 cm de profundidad de suministro se puede airear 9000 m<sup>3</sup>/d de agua con remociones del 50-60% de CO<sub>2</sub>.

El aireador de cascada se diseña como una escalera; entre más grande sea el área horizontal más completa es la aireación. La aireación ocurre en las reas de salpicamiento en forma similar a la que ocurre en un río turbulento; por ello se acostumbra colocar salientes, bloques o vertederos en los extremos de los escalones.

La carga hidráulica de estos aireadores puede ser de 10 – 30 L/s. m<sup>2</sup> u 864-2592 m/d, donde la carga hidráulica es la relación entre el caudal aplicado y el área horizontal del aireador; la altura de los escalones, de 20-40 cm, y la altura total de 1 – 3 m.

**Tabla 5.4 Parámetros Típicos para diseño de cascadas de oxigenación.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Carga hidráulica para caudal promedio	1200-6200 m <sup>3</sup> /m. d
Carga hidráulica típica para caudal promedio	3000 m <sup>3</sup> /m. d
Altura del escalón	15-30 cm
Altura típica del escalón	20 cm
Longitud del escalón	30-60 cm
Longitud típica del escalón	45 cm
Altura de la cascada	1.8-5 m

**Fuente: Rojas, J. A, 1999**

### 5. 3. 4. Fundamentos para diseño de aireador tipo cascada

La tasa de difusión de un soluto a través de un área transversal uniforme depende de su tamaño y forma molecular, así como del gradiente de concentración del soluto, el vector tiene una dirección de la mayor concentración a la de menor concentración, la volatilidad y la concentración de saturación son factores que controlan la tasa a la cual se da la difusión ya que la mayor concentración que se puede lograr es la de saturación, a las condiciones que se encuentren cuando se da la difusión.

La primera ley de la difusión de Fick y la teoría de la capa líquida estacionaria, la tasa de cambio de concentración de una sustancia volátil viene dada por la Ecuación 5.7.

$$\frac{dC}{dt} = \frac{K A (C_s - C)}{V} \quad \text{(Ecuación 5.7)}$$

**Donde:**

$\frac{dC}{dt}$  = Tasa de cambio en la concentración, (mg/L). s

K= Coeficiente de transferencia de la sustancia volátil, m/s

A= Área de contacto entre la fase gaseosa y la fase líquida, m<sup>2</sup>

V= Volumen de la fase líquida, m<sup>3</sup>

C<sub>s</sub>= Concentración de la saturación del gas en el líquido, mg/L

C= Concentración del gas o sustancias volátiles en el líquido, m/L

La ecuación anterior indica que la tasa de cambio en la concentración del gas, durante la aireación, es directamente proporcional al área de contacto A, al déficit de saturación y al coeficiente de transferencia, e inversamente proporcional al volumen del líquido expuesto. Por lo tanto, cualquier factor que afecte estos parámetros afecta la tasa de transferencia del gas. En la desorción o liberación de un gas, o se desgasifica una solución sobresaturada, la tasa de difusión, dC/dt; aumenta a medida que la concentración C disminuye. (Rojas, J. A, 1999)

$$C=C_s-(C_0-C_s)e^{-KA_t/V}$$

(Ecuación 5.8)

Donde:

C= Concentración de gas para el tiempo t, mg/L.

C<sub>0</sub>= Concentración inicial de gas en el líquido o concentración para tiempo t=0, mg/L.

t= Tiempo de aireación, s.

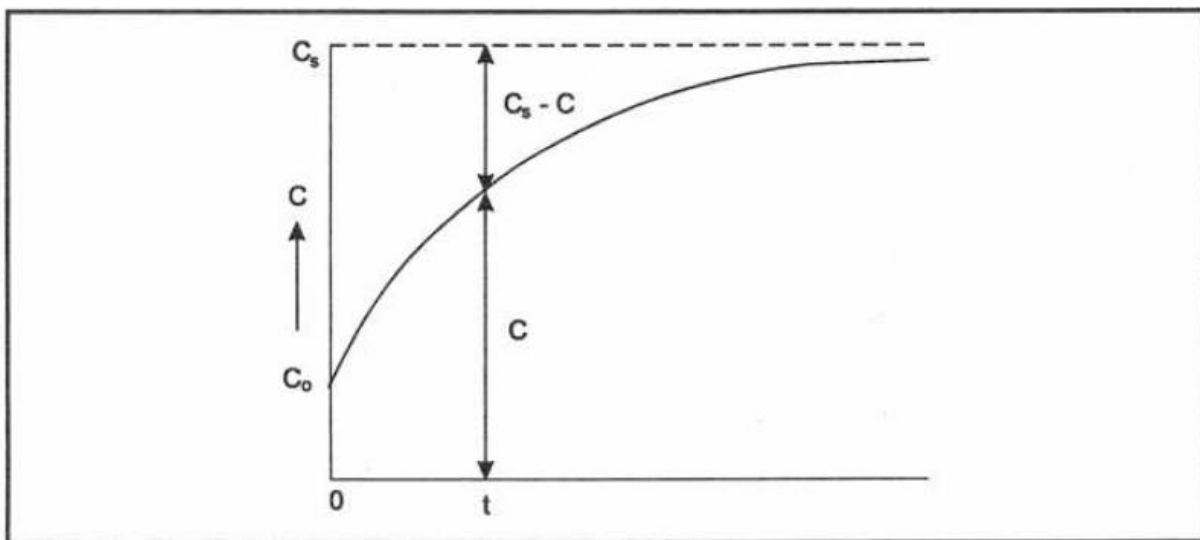


Figura 5.5 Curva de absorción de un gas.

Fuente: ROJAS, J. A, 1999

De acuerdo con la ecuación y la Figura 5.5 podemos observar que los factores importantes en el diseño son:

1. Tiempo de aireación.
2. La relación A/V.
3. ventilación adecuada.

### 5. 3. 5. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL AIREADOR DE TIPO CASCADA.

Se calcula la altura de la cascada de oxigenación (Rojas, J. A, 1999).

$$H = \frac{R-1}{0.361 ab(1+0.046T)} \quad \text{(Ecuación 5.9)}$$

$$R = \frac{C_s - C_o}{C_s - C} \quad \text{(Ecuación 5.10)}$$

**Donde:**

R= Relación deficitaria de oxígeno.

C<sub>s</sub>= Concentración de saturación de oxígeno disuelto a la temperatura, T, mg/L.

C<sub>o</sub>= Concentración de oxígeno disuelto en el agua, antes del vertedero o cascada, mg/L.

C= Concentración de oxígeno disuelto en el agua, después del vertedero o cascada, mg/L.

T= Temperatura, °C.

H= Altura de caída del agua, m.

a=1.25 para agua limpia de río, 1.0 para agua poluta, 0.8 para efluente de agua residual.

b= 1.0 para un vertedero de caída libre, 1.1 para escalones, 1.3 para vertedero escalonado.

**Tabla 5.5 Dependencia de la concentración de oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua**

Temp.	OD (mg/l)	Temp.	OD (mg/l)	Temp.	OD (mg/l)
0	14.16	12	10.43	24	8.25
1	13.77	13	10.2	25	8.11
2	13.4	14	9.98	26	7.99
3	13.05	15	9.76	27	7.86
4	12.7	16	9.56	28	7.75
5	12.37	17	9.37	29	7.64
6	12.06	18	9.18	30	7.53
7	11.76	19	9.01	31	7.42
8	11.47	20	8.84	32	7.32
9	11.19	21	8.68	33	7.22
10	10.92	22	8.53	34	7.13
11	10.67	23	9.38	35	7.04

**Fuente: Rojas, J. A, 1999**

De la Tabla 5.5 se obtiene  $C_s$ , ya que la temperatura de trabajo es 35° C,  $C_s$  es 7.04 mg/L, los resultados de los análisis hechos por la Alcaldía Municipal de San Lorenzo en el mes de septiembre del 2020 (véase Anexo 12), dan un  $C_o$  de 0.57 mg/L en efluente y que es concentración de entrada al Aireador de cascada.

$$R = \frac{C_s - C_o}{C_s - C} \quad \text{(Ecuación 5.11)}$$

**Sustituyendo Ecuación 5.11:**

$$R = \frac{7.04 - 0.57}{7.04 - 5.0} = 3.17 \quad \text{(Ecuación 5.12)}$$

Con respecto a la concentración de oxígeno disuelto en el efluente del vertedero o cascada, en El Salvador no existe entidad que dictamine la concentración de descarga a cuerpos receptores, en el RTS no tienen mención del oxígeno disuelto a cuerpos receptores de aguas provenientes de PTAR de agua tipo ordinaria, por lo cual se utilizara un parámetro basado dentro de lo posible físicamente y con base a la descarga de otros países, en lo físico debe estar dentro de la concentración  $C_s$ , dicho de otra manera tiene que estar entre  $0-C_s$ , que es el rango físico posible de alcanzar.

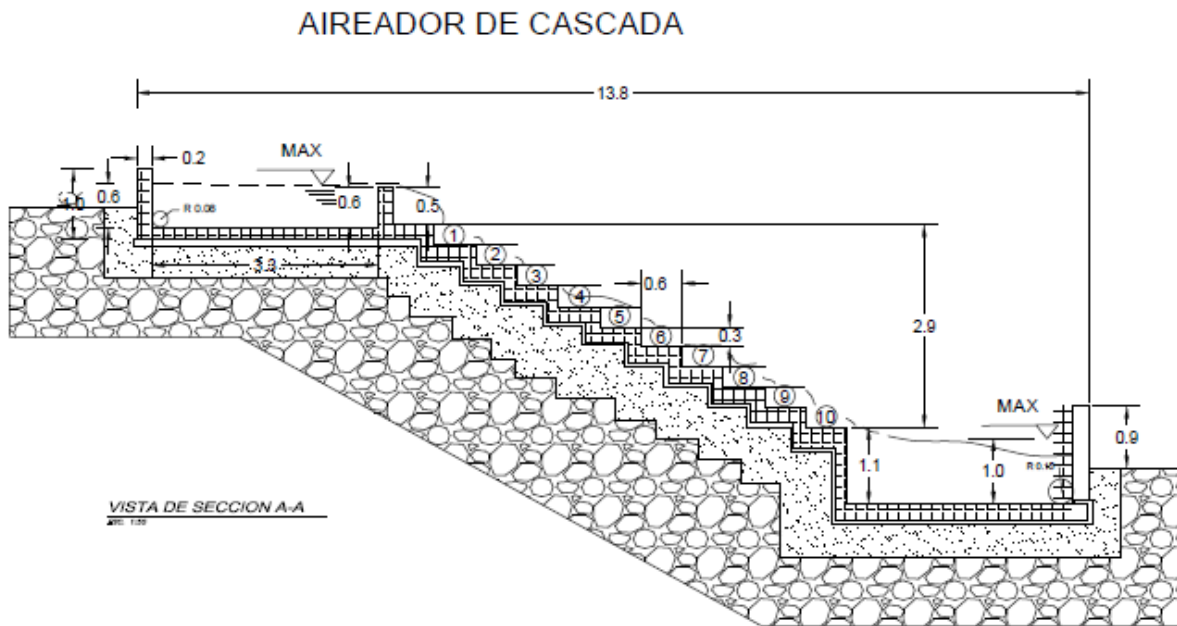
Según el Artículo 45 del decreto 1594 de 1984, de la Republica de Colombia, dentro de los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna el Oxígeno disuelto tiene un valor de 5.0 mg/L, por consiguiente, diseñaremos el aireador para que cumpla con las regulaciones del estado.

Ahora desarrollamos la ecuación para determinar la altura de la cascada de oxígeno.

$$H = \frac{3.17-1}{0.361*0.8*1.3(1+0.046*35)} = 2.21\text{m} \quad \text{(Ecuación 5.13)}$$

Se tiene el dato de la altura  $H$  de la cascada, se determina el número y dimensiones de los escalones según la Tabla 5.4, Se puede adoptar para esta cascada de 2.21 m de altura, 10 escalones de 0.22 m de altura cada uno y una longitud de 0.6m.

En la Figura 5.6 se muestra la vista lateral del aireador tipo cascada, donde puede observarse los tanques de recolección del agua y los 10 escalones, en el Anexo 16 se muestra la vista en planta.



**Figura 5.6 Vista lateral de aireador tipo cascada**

Los planos del aireador tipo cascada se muestran en la Figura 5.7 y en el Anexo 17 se indica la mejor posición en la que se puede construir el aireador y de esta manera aprovechar la geografía de la zona donde se encuentra la PTAR en estudio



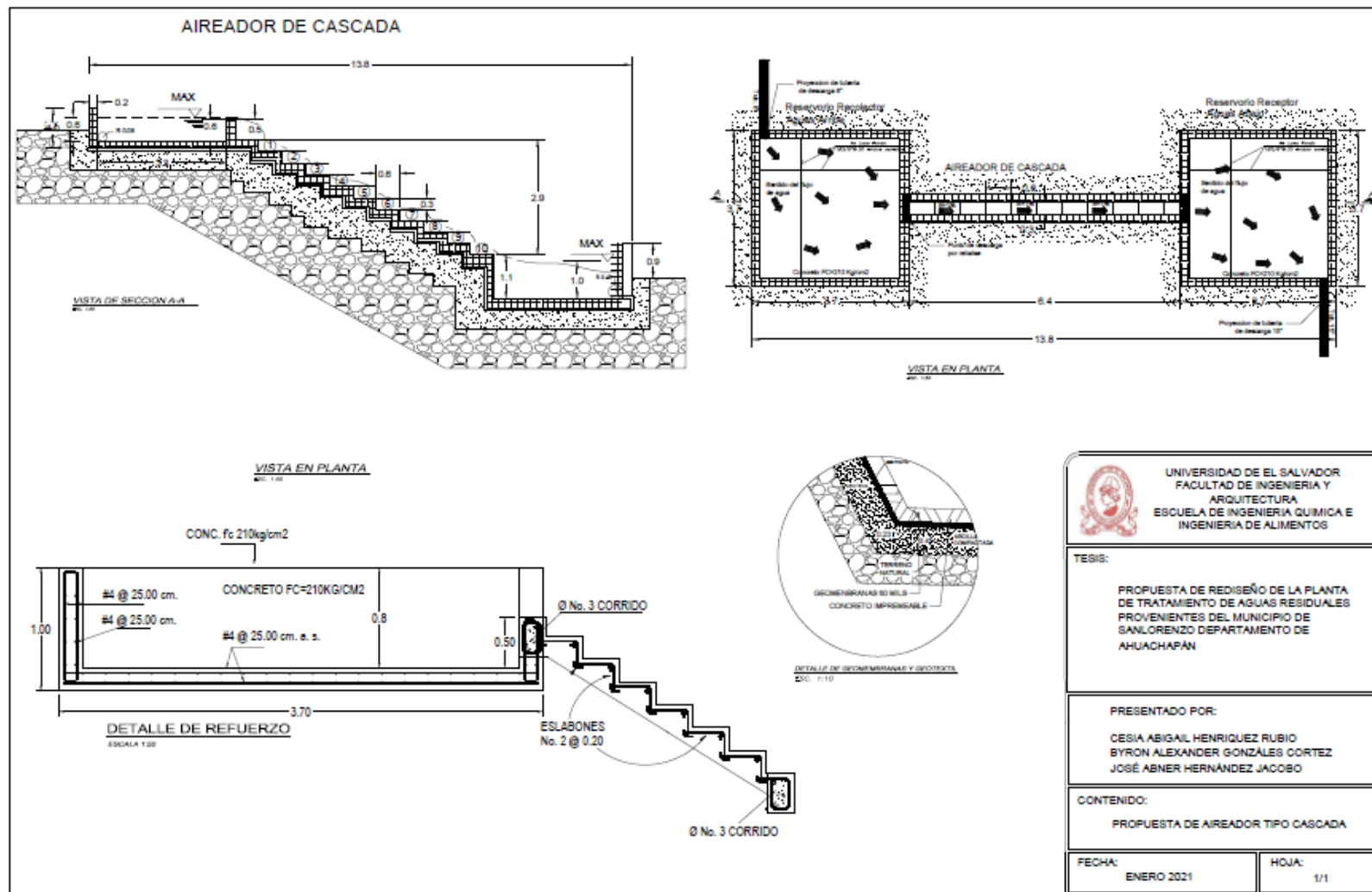


Figura 5.7 Planos de propuesta de aireador tipo cascada de la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.

## 5. 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE PROPUESTAS

En el capítulo IV se presentaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al efluente de la PTAR de San Lorenzo , Ahuachapán, los cuales fueron realizados por parte de la Alcaldía Municipal, en el capítulo III se presentaron los límites permisibles por el Reglamento Técnico Salvadoreño de Aguas para descargas a cuerpos receptores de los cuales DBO Y DQO no cumplen con los valores permitidos, a partir de esos resultados obtenidos se procedió al diseño teórico de propuestas de aireadores con el objetivo de la optimización de la planta.

Las propuestas de aireación seleccionadas se dividen en dos, PROPUESTA A con el fin de airear el agua mediante un sistema basado en el funcionamiento de la inyección de líquido a gran velocidad, el uso de varios aireadores de este tipo en paralelo para aumentar la extensión de la zona aireada; entre las ventajas más importantes de los aireadores sumergibles están el completo mezclado del agua residual, bajo nivel de ruido, sencilla instalación y bajo riesgo de atasco.

PROPUESTA B, con el fin de airear el agua mediante escalones de concreto, en forma similar a la que ocurre en un río turbulento y por medio del cual se aprovecha de la geografía de la zona, y debido al estilo escalonado que tiene el aireador y la ubicación de la planta donde sería construido ya que se encuentra ubicada en una pendiente antes de la descarga al cuerpo receptor (véase Anexo 18); el aireador es económico y no necesita de energía adicional, para los materiales (véase Anexo 19), el mantenimiento es sencillo, no necesita de mucho personal, ni tampoco es difícil la capacitación del personal para su mantenimiento, es uno de los más usados para el tipo de PTAR e ideal para la carga hidráulica que se maneja.

Luego de conocer las propuestas, se debe implementar una con el fin de volverse útil para los habitantes del municipio San Lorenzo y la propuesta más adecuada es la PROPUESTA B, ya que aprovecha no solo la geografía de zona y el terreno de la PTAR. El Aireador de tipo cascada se identifica por un largo tiempo de vida útil, no existen gastos de piezas de desgaste, además el mantenimiento y capacitación de personal es muy simple, esto cumple un papel muy importante para la municipalidad ya

que podrían tomar el rediseño de la PTAR a muy corto plazo con todas las ventajas que se presentan en lo ya mencionado.

En el Anexo 20 se muestra el cuadro de costo financiero de aireador tipo cascada y en el anexo 21 del sistema de aireadores sumergibles modelo JA-75, en los cuales se puede observar la diferencia en los costos de instalación. Por lo cual, el aireador tipo cascada presenta ventaja económica con respecto del sistema de aireadores sumergibles.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó de acuerdo al análisis de la investigación el deficiente funcionamiento actual de la PTAR del Municipio de San Lorenzo, esto es consecuente de la errónea práctica del personal que opera en la planta, el cual no se encuentra capacitado. A demás, el efluente no cumple con lo requerido por el RTS: 13.05.01:18. y tampoco cuentan los permisos legales de las autoridades competentes para su funcionamiento.
2. El plan de muestreo para aguas residuales de tipo ordinarias descritas en la investigación, permitió detallar las metodologías al momento de la elección del contenedor de las muestras, así como también el manejo de las muestras en el trayecto del punto de recolección al punto donde se llevará a cabo el análisis, ya que la mayoría de las pruebas son ex-situ.
3. Se determinaron los métodos para la caracterización de los parámetros de las aguas residuales de tipo ordinario, por medio de la investigación bibliográfica.
4. Los parámetros de descarga de la PTAR del Municipio de San Lorenzo departamento de Ahuachapán, no cumple con lo establecido según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS: 13.05.01:18. "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. En el caso de los parámetros: Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, las concentraciones pueden deberse a causas naturales y al tipo de desechos enviados por los residentes de la zona al afluente de la PTAR, que contengan concentraciones altas de materia inorgánica y material biológico.
5. Según la investigación bibliográfica la relación entre el DBO/DQO denominado índice de biodegradabilidad, dio como resultado que el agua es muy biodegradable. Por lo cual, es tratable por medios biológicos y la implementación del aireador tipo cascada permitirá obtener resultados favorables.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar algunas mejoras al sistema de la PTAR del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán, a nivel operativo e infraestructura, propuestos en este estudio; y así obtener mejores resultados en los parámetros físico-químicos y microbiológicos que no se encuentran dentro de los límites permisibles por el RTS:13.05.01:18, estas mejoras son las siguientes:

- i. Instalar un medidor tipo Parshall, y registrar diariamente las mediciones de caudal.
- ii. Instalar un aireador de tipo cascada, con el fin de aumentar el Oxígeno disuelto en el efluente de la PTAR y así cumplir con los límites permisibles de DQO Y DBO que indica el RTS: 13.05.01:18 de descarga a un cuerpo receptor.
- iii. Aumentar el conocimiento del personal respecto al funcionamiento óptimo de la PTAR por medio de capacitaciones periódicas.
- iv. Instalar un laboratorio donde se puedan realizar análisis a los parámetros que exige el RTS: 13.05.01:18 que se realicen dentro de la PTAR y así mantener el control requerido por el mismo.
- v. Contratar personal capacitado y con experiencia en el manejo de PTAR similares, con los cuales se pueda realizar mejoras dentro de compras de insumos nuevos y más eficientes que pueda ser dosificados idealmente.
- vi. Dar seguimiento a los parámetros de control establecidos por el RTS: 13.05.01:18 para descargas a cuerpos receptores de la PTAR de aguas de tipo ordinario del Municipio San Lorenzo, Ahuachapán.
- vii. Aprovechar la gravedad del terreno, ampliando las dimensiones del aireador tipo cascada para aumentos de caudales futuros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza por el agua. (2008). "*Manual de depuración de aguas residuales urbanas*". Editorial: IdeasAmares. Recuperado de: <http://idiaqua.eu/web/wpcontent/uploads/2018/07/monografico3.pdf>. España.
- APEC PUMP (s.f). "*Aireadores sumergibles de Chorro*".Obtenido de : <http://www.ap-ecpump.com/upload/2020923112221MK6aYj8.pdf>
- Beascochea, E. d., Muñoz, J. d., y Fernández, D. C. (2001). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid España.
- Blandón, S. B. (2010). *Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales*. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia
- Bojaca., R. P. (2007). *Determinación de grasas y aceites en aguas por el método shoxhet*.Obtenido-de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/-38155/Grasas+y+Aceites+en+agua+por+m%C3%A9todo+Soxhlet..pdf>. Colombia.
- COMURES. (s.f.). *Tierra noble del jocote y el loroco. Experiencias Municipales de Desarrollo Económico Local*.Corporacion de Municipios de la Republica de El Salvador. El Salvador.
- Consultoría y Construcción de Obras Civiles, S.A. de C.V. (2012). *Plan Estratégico Participativo de Desarrollo Local e Inversiones Municipales del Municipio de San Lorenzo,DepartamentoAhuachapán*.Obtenidode:<http://alcaldiadesanlorenzo.gob.sv/wp-content/uploads/2015/11/plan-estrategico-participativo-de-desarrollo-local-san-lorenzo.pdf>. El Salvador.
- DINAMA. ( 1996). *Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes*. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Uruguay.
- Guzmán, J. E., Renderos. V., y Guerrero. L.A. (2005). *Aspectos Importantes Sobre Manejo Sanitario de Aguas Residuales*. Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social. El Salvador.
- MARN. (2017). "*Informe de la Calidad del agua de los Rios de El Salvador*". Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
- Metcalf y Eddy. (1996). "*Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Recupera-ración*".Vol.1, 3era Ed. Editorial: McGraw-Hill, Inc. España.
- Muñoz García,H. F., Oliveros Vargas, K. E., (2019)."*Planta de tratamiento compuesta para el procesamiento de lixiviados generados por el relleno sanitario parque ecológico Praderas del Magdalena con la finalidad de obtener un afluente aprovechable para el uso de riego*". Colombia.

- NTC-ISO 5667-1. (1995). *Gestión Ambiental. Calidad de Agua. Muestreo Directrices Para el Diseño de Programas de Muestreo*. Norma Técnica Colombiana . Colombia.
- OSARTEC (2018). *Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua (RTS 13.05.01:18) "Agua.Aguas residuales.Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales"*.Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica. El Salvador.
- Rodriguez Fernandez , A., Letón Garcia, P., Rosal Garcia, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernandez, S., Sanz Garcia, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Editorial: Elecé Industria Grafica. Madrid España:
- Rodriguez, C. H. (2007). *Tensoactivos aniónicos en agua- Método SAAM*. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Tensoactivos+en+agua%2C+m%C3%A9todo+SAAM.pdf>. Colombia.
- Rojas, R.(2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*.Obtenido de-<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Tensoactivos+en+agua%2C+m%C3%A9todo+SAAM.pdf>. Colombia.
- Rojas, J. A. (1999). *Potabilizacion del Agua* .3era Ed.Editorial: Alfaomega grupo editor, S.A de C.V. México.
- Romero , J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Serveriche Sierra, C. A., Castillo Bertel, M. E., y Acevedo Barrios, R. L.(2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. Colombia.
- UNESCO (2017)."*Aguas residuales: El Recurso Desaprovechado*". *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Recuperado-de-<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647/PDF/-247647spa.pdf>.Francia.
- Valdez, E. C. y Vázquez González, A. B. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México.

# ANEXOS



**Anexo 1. Etiqueta para rotular recipiente muestreador**

<b>MUESTRA DE AGUA RESIDUALES</b>	
<b>Fecha:   /   /                      Hora:</b>	
Tipo de muestra	
Lugar de muestreo	
Responsable	
Observaciones	

**Anexo 2. Propuesta de formato de informe de muestreo para Alcaldía  
Municipal de San Lorenzo, Ahuachapán.**

LOGO	ALCALDIA MUNICIPAL DE SAN LORENZO AHUACHAPÁN	Formato Fecha
	Registro de datos de toma de muestras en planta de tratamiento de agua residual (PTAR)	

Fecha:	
Hora:	
Naturaleza del efluente	

Nombre de la PTAR: \_\_\_\_\_

Localización de la PTAR: \_\_\_\_\_

Nombre de la persona responsable de tomar la muestra: \_\_\_\_\_

Localización del muestreo: \_\_\_\_\_  
(ejemplo: Afluente de la PTAR / Efluente de la PTAR)

Registrar las siguientes mediciones al momento de tomar la muestra:

pH (-)	Temperatura del agua (°C)	Color y olor del agua

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### **Anexo 3. Procedimientos, materiales y quipos para determinación de Sólidos Suspendidos Totales.**

#### *Equipos y materiales:*

- i. Equipo de filtración
- ii. Filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore o equivalente (como GF 1822047 ó 934AH Whatman)
- iii. Estufa
- iv. Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad
- v. Balanza analítica
- vi. Agitador magnético
- vii. Probetas de diferentes volúmenes

#### *Procedimiento:*

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.

Preparación del filtro de fibra de vidrio:

1. Alistar la estufa a una temperatura entre 103-105°C.
2. Empleando grafito, marcar el filtro de forma inequívoca (ej.: mediante numeración consecutiva).
3. Colocar el filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.
4. Aplicar vacío y lavar el filtro con 3 porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada.
5. Mantener la filtración hasta la remoción total de las trazas de agua. Desechar el filtrado.
6. Retirar el filtro, colocarlo en un papel de aluminio y secarlo en estufa a 103-105°C durante una hora.
7. Enfriar en el desecador hasta su empleo, pesar el filtro, y registrar los datos.
8. Repetir hasta que la variación del peso sea < 4% ó de 0.5 mg (lo que resulte menor). Anotar el peso del filtro (peso A).

### **Análisis de la muestra:**

1. Esperar a que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.
2. En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar.
3. Coger el filtro previamente tarado del desecador, llevarlo al equipo de filtración e iniciar la succión.
4. Agitar la muestra adecuadamente y depositar el volumen seleccionado sobre el filtro.
5. Una vez que la muestra haya terminado de filtrar, lavar 3 veces sucesivas con volúmenes de 10 mL de agua destilada dejando secar entre lavados.
6. Retirar el filtro y llevarlo al papel de aluminio (al mismo donde se guardó en el desecador) y secarlo en la estufa a 103-105°C durante una hora. A criterio del analista, el secado puede extenderse (incluida toda la noche), cuando la apariencia física de la muestra denote presencia de grasa o alto contenido de sales.
7. Enfriar en desecador, pesar el filtro y registrar los datos.
8. Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecado y pesado, hasta que la variación del peso sea < 4% ó de 0.5 mg (lo que resulte menor). Anotar los pesos del filtro (peso B).

### **Cálculos y presentación de resultados**

mg sólidos suspendidos totales/L = [(B- A) X 1000] / volumen muestra (mL)

Donde:

A: peso del filtro seco antes de la filtración (en mg)

B: peso del filtro + residuo seco (en mg)

En ambos casos, se empleará el promedio de los dos valores que cumplan el requisito de peso constante antes enunciado. Los resultados inferiores a 1 mg/L deben informarse como "< 1 mg/L". Resultados entre 1-10 mg/L, se informarán con una cifra decimal; superiores a 10 mg/L, se redondearán a la unidad.

## Anexo 4. Determinación de sólidos sedimentables

### Equipos y materiales:

- i. cono Imhoff y base para colocarlo.
- ii. varilla agitadora.

### Procedimiento:

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.

1. En su propio frasco, dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente del laboratorio.
2. Mezclar bien la muestra por agitación.
3. Llenar el cono Imhoff, evitando verter la muestra por las paredes del cono, hasta la marca de 1 L. En casos excepcionales donde el volumen de muestra disponible sea menor a 1 litro, se verterá toda la muestra y anotará el volumen (esto último para realizar los cálculos).
4. Dejar sedimentar por 45 minutos.
5. Remover suavemente las paredes del cono con una varilla agitadora.
6. Dejar sedimentar 15 minutos más.
7. Anotar el volumen de sólidos sedimentables como mL/L, acorde a:

**Tabla 1. Criterios para reportar los resultados de sólidos sedimentables**

<b>Intervalo de volumen (mL)</b>	<b>División de la escala (mL)</b>	<b>Criterio para reportar resultados</b>
0-2	0.1	0.1
2-6	0.5	0.3*
6-10	0.5	0.5
10-20	1	0.5*
20-40	1	1

Fuente: Serveriche Sierra, C. A.y Otros., 2013.

Siempre que el nivel de sólidos se encuentre más próximo a la distancia media entre dos divisiones de escala, este valor se sumará al correspondiente a la división menor. Si el nivel se halla más próximo a una de las divisiones de escala, se considerará el valor de ésta. A partir de 40 mL se sigue el criterio previo en función de la división de escala del cono utilizado.

**Notas:**

- i. De existir materiales flotables, no deben considerarse como sedimentables.
- ii. Usualmente no se requieren réplicas.

**Cálculos y presentación de resultados**

Reportar el volumen de sólidos sedimentables como mL/L.hora. Los resultados inferiores a 0.1 mL/L deben informarse como < 0.1 mL/L. Cuando se analicen volúmenes < 1 L, será necesario realizar la corrección de volumen, dividiendo el valor anotado entre el volumen en L. Resultados inferiores a 20 mL/L se expresarán con una cifra decimal. A partir de dicho valor, se expresarán redondeados a la unidad.

## **Anexo 5. Procedimiento de Preparación de Estándares (Determinación de Grasas y Aceite).**

Procedimiento según Bojaca., R. P. (2007).

Blanco

Tome 1 litro de agua destilada y acidifíquela con  $H_2SO_4$  o HCl a pH < de 2 (aproximadamente 2 gotas). Verificar con papel indicador.

### **Estándares de control**

1. Pese 5,0 g de aceite mineral en un vaso de precipitados y disuelva con hexano. Transfiera cuantitativamente a un balón de 50 mL y lleve a volumen con hexano para obtener una concentración de 100.000 mg/L. Almacene inmediatamente en un frasco tapa rosca y refrigere en la nevera de cromatografía (- 18°C).
2. Estándar de 50 mg/L: Dispense de este stock 500  $\mu$ L en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con  $H_2SO_4$  a pH < 2.
3. Estándar de 500 mg/L: Dispense de este stock 5 mL en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con  $H_2SO_4$  a pH < 2.

## **Anexo 6. Procedimiento, Aparatos, Reactivos, Materiales para la Determinación de Grasas y Aceites**

Procedimiento según Bojaca., R. P. (2007).

### **Aparatos**

- i. Extractor Soxhlet BÜCHI B-810.
- ii. Bomba de vacío.
- iii. Cabina extractora de vapores orgánicos
- iv. Balanza analítica de cuatro cifras decimales
- v. Horno de secado
- vi. Rotavapor (para la recuperación del solvente)
- vii. Desecador grande

### **Reactivos**

- i. Ácido clorhídrico, HCl concentrado o Ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$  concentrado
- ii. Hexano,  $C_6H_{12}$ , punto de ebullición 69°C, libre de residuos.
- iii. Suspensión para ayuda de filtración, tierra de diatomáceas, 10g/L. Suspender 10g de la tierra de diatomácea en 1 L de agua destilada.
- iv. Aceite de origen vegetal o mineral.

### **Materiales**

- i. Embudo Buchner, de 12 cm de diámetro.
- ii. Dedal de extracción de vidrio.
- iii. Papel de filtro, de 11 cm de diámetro cuantitativo (Whatman N° 40 o equivalente)
- iv. Discos de muselina.
- v. Pinzas, metálicas.
- vi. Frasco lavador.
- vii. Vaso de precipitado de 50 ml
- viii. Varilla de vidrio.



## Preparación del lecho filtrante

1. Corte la muselina en círculos de diámetro mayor en un centímetro al del embudo buchner a utilizar.
2. Ponga en el fondo del embudo buchner el disco de muselina y sobre esta un papel de filtro cuantitativo.
3. Adhiera el papel filtro y la muselina al fondo del embudo humedeciéndolo y presionando las orillas del papel con un agitador de vidrio limpio.
4. Aplique vacío y filtre 100 mL de suspensión de ayuda (tierra de diatomácea) y
5. lave con abundante (100 mL) agua destilada.
6. Suspenda la filtración hasta cuando no pase más agua a través del lecho filtrante Garantizar la simetría del papel y la homogeneidad de la capa de tierra de diatomácea.

## Filtración y Extracción

1. Afore la botella demarcando el nivel de la muestra.
2. Con la ayuda de la varilla de vidrio adicione poco a poco y cuantitativamente la muestra a través del lecho filtrante evitando pérdidas por el borde del papel.
3. Filtre el blanco, estándar o muestra cuantitativamente, utilizando varilla de
4. vidrio para cada uno. Aplique vacío hasta cuando no pase más agua a través del lecho filtrante.
5. No permita que el nivel de la muestra supere el borde del medio filtrante.
6. Doble el filtro y transfíralo al dedal de extracción.
7. Seque el dedal con las muestras, el recipiente de la muestra y la varilla empleada en la filtración en el horno a 103°C durante 30 minutos.
8. Lleve los dedales al extractor Soxhlet.
9. Pese los vasos de extracción.
10. Enjuague con solvente el recipiente que contenía la muestra y la varilla de filtración, transfiera el enjuague al vaso de extracción para recuperar el material graso adherido a las paredes del recipiente.

11. Adicione el solvente al vaso de extracción hasta 180 mL para La extracción (aproximadamente el 90% del volumen total del vaso de extracción) y llévelo a la plancha de calentamiento del equipo extractor.
12. Cierre el equipo verificando que haya sellado correctamente (el vaso no gira, ajuste el vaso al sello del soxhlet) Compruebe que la palanca situada en la parte superior derecha del equipo está en la posición “closed”.
13. Conecte el baño de aceite, verifique que la temperatura de calentamiento es de 110 °C y abra inmediatamente el suministro de agua de refrigeración
14. Realice la extracción durante 4 horas a partir del primer sifón que realice el equipo.
15. Acabada la etapa de extracción abra la válvula de drenaje (posición open) para la recuperación del solvente y deje secar los vasos de extracción.
16. Apague y desconecte el baño de aceite, deje el flujo de agua hasta que el equipo se enfríe (aprox. una hora).
17. Retire los vasos con la grasa obtenida en la extracción, no toque el vaso con los guantes, emplee pinzas.
18. Lleve los vasos a la cabina extractora para eliminar el solvente residual.
19. Lleve al desecador los vasos fríos durante 30 minutos.
20. Determine el peso final.

### **Cálculo de resultados**

El aumento en peso del vaso de extracción tarado es debido principalmente a la grasa y el aceite, siendo el contenido de estos:

$$GYA, \text{ mg/L} = \frac{(P_f - P_i)}{V} * 10^6$$

Donde:

Pf= peso final del matraz de extracción, g.

Pi= peso inicial del matraz de extracción, g.

V= Volumen de muestra, mL

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{(P_{a_{fin}} - P_{\text{vaso}})}{P_{\text{a}_{ini}}} * 10^6$$

Donde:

$P_{a_{fin}}$  = peso vaso con grasa obtenido después de la extracción

$P_{\text{vaso}}$  = Peso del vaso de extracción vacío

$P_{\text{a}_{ini}}$  = peso de aceite para la preparación del estándar.

## Anexo 7. Reactivos, Cálculos y Procedimientos para la *determinación de la Demanda Química de Oxígeno.*

### Reactivos

- i. Sulfato de mercurio  $\text{HgSO}_4$ , para evitar interferencias de los haluros.
- ii. Dicromato potásico  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,25 N: Disolver 12,2588 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ,previamente secado 24h en estufa a  $105^\circ \text{C}$ , en 1 litro de agua destilada.
- iii. Solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico: Disolver 5 g de  $\text{AgSO}_4$  en 540 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado (densidad 1.84).
- iv. Solución de sulfato de hierro y amonio 0,25 N  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  o SAL DE MOHR: Disolver 98,04 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada. Añadir 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, enfriar y enrasar a 1 litro con agua destilada. La solución debe estandarizarse diariamente, para determinar exactamente su normalidad, frente a la solución de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0.25N.
- v. Indicador de DQO o solución de ferroína: Disolver 1,485 g de 1,10 fenantrolina ( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) y 0,695 g de sulfato de hierro heptahidrato en agua destilada, y llevar a volumen de 100 ml.

Valoración de la sal de MOHR: Diluir en un matraz Erlenmeyer de 100 ml de capacidad, 10 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,25 N con agua destilada, hasta aproximadamente 100 ml. Añadir 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y enfriar. Añadir unas 5 gotas del indicador ferroína y valorar hasta viraje a rojo violáceo con sal de MOHR.

Cálculos:

$$f = \frac{\text{Volumen de } \text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2 \text{ 0.25 N utilizado} \times 0.25}{\text{Volumen de la sal de mohr consumido en la valoración}}$$

### Procedimiento

1. Se enciende la placa calefactora.

2. Se pesan 0,44 g de  $HgSO_4$  en matraz para reflujo de 100 ml. La cantidad propuesta de  $HgSO_4$  es suficiente en la mayoría de los casos, para eliminar las posibles interferencias por Cl en la muestra.
3. Se colocan unas bolitas de vidrio en la matra para favorecer la ebullición.
4. Se añaden 20 ml de muestra.
5. Se añaden lentamente 30 ml de la solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico, con una pipeta de vertido, mezclando bien para disolver el  $HgSO_4$ , y enfriar.
6. Se añaden 12,5 ml de solución de dicromato potásico 0,25 N y se mezclan bien todos los productos añadidos.
7. Sobre el matraz se dispone el elemento refrigerante (condensador del reflujo), y se somete a reflujo durante 2 horas.
8. El conjunto se deja enfriar; el condensador del reflujo se lava con agua destilada, y después se separa el matraz del refrigerante.
9. La muestra oxidada se diluye hasta 75 ml con agua destilada y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
10. Se añaden unas 5 gotas del indicador ferroína.
11. Se procede a valorar el exceso de dicromato con la sal de Mohr. El punto final de análisis se toma cuando el color varía bruscamente de azul verdoso a pardo rojizo.

Este método resulta eficaz para muestras que tengan una DQO entre 50 y 800 mg/l. Para niveles superiores diluir el agua problema y para contenidos menores aplicar otro método.

*Cálculos:*

$$DQO \left( \text{mg de } \frac{\text{oxígeno}}{\text{litro}} \right) = \frac{[(A-B) \times N \times 8000]}{\text{Volumen (ml) de muestra}}$$

**Donde:**

A= Volumen (ml) de sal de Mohr gastado en el blanco.

B= Volumen (ml) de sal de Mohr gastado en la muestra.

N= Normalidad de la sal de Mohr.

## **Anexo 8. Procedimiento y Reactivos para la *determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno***

### **Reactivos**

- i. Disolución de allitiourea: Disolver 5 g de allitiourea reactivo en un litro de agua destilada
- ii. Esta disolución se utilizará como inhibidor de la nitrificación.
- iii. Sosa cáustica (OHNa) en perlas.

### **Procedimiento**

1. Se introduce una varilla agitadora (imán) en el interior del biómetro.
2. Se añade el inhibidor de la nitrificación en una proporción equivalente a 20 gotas de la disolución de allitiourea por litro de muestra.
3. Se ponen dos perlitas de OHNa en la cápsula diseñada a tal efecto.
4. Se añade un volumen de muestra determinado en el biómetro. El volumen a utilizar depende del rango de DBO esperado, y está especificado en las instrucciones de uso del biómetro.
5. Se coloca la cápsula conteniendo OHNa sobre la parte superior del biómetro, una vez que la muestra esté estable y no se observen burbujas de aire.
6. Se cierra el biómetro con el correspondiente tapón-registrador, y se pone la lectura a cero.
7. Se introduce el biómetro en cámara a 25°C y se enciende el agitador magnético. Se mantiene agitación suave constante durante todo el ensayo.
8. Se realiza la lectura a los cinco días, siguiendo el procedimiento de lectura de la casa fabricante del biómetro. La DBO<sub>5</sub> final del agua analizada, expresada en mg de O<sub>2</sub> por litro de muestra, será la lectura obtenida en el biómetro multiplicada por el factor de dilución del ensayo. La correspondencia: factor de dilución a volumen de muestra introducido en el biómetro se indica en las instrucciones de uso del biómetro.

## **Anexo 9. Procedimiento de preparación de estándares (Determinación de SAAM).**

### **Preparación de la Curva de Calibración:**

Prepare una serie de embudos de separación con 5, 10, 20 y 30 mL de solución de la sal sódica de trabajo de 10 mg SAAM/L, las concentraciones de estos estándares al final del proceso de extracción serán respectivamente de 0.5, 1.0, 2.0 y 3.0 mg SAAM/L. Para los ensayos utilice la sal sódica sulfato de dodecilo en lugar del sulfonato de alquilbenceno lineal sugerido en el Standard Methods. Añada suficiente agua destilada para completar un volumen aproximado de 100 mL en cada embudo. Procese cada estándar como se describe en el numeral 10, (procese las muestras de la misma manera) y grafique la curva de calibración de absorbancia contra mg SAAM/L de sal sódica tomados.

### **Estándares de control**

1. Estándar de 0.50 mg SAAM/L Vierta un volumen de 5.0 mL de la solución de trabajo de 10 mg/L de SAAM en un embudo de separación de 250 mL, agregue suficiente agua destilada hasta un volumen aproximado de 100 mL y continúe el proceso de extracción como se indica en el numeral 10; como el volumen final del extracto en la fase clorofórmica es de 100 mL, la concentración de esta solución es de 0.50 mg SAAM/L.
2. Estándar de 2.5 mg SAAM/L Vierta un volumen de 25 mL de la solución de trabajo de 10 mg SAAM/L en un embudo de separación de 250 mL y continúe el mismo procedimiento. La concentración final de esta solución es de 2.5 mg SAAM/L

## Anexo 10. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metilo (SAAM).

### Aparatos

- i. Espectrofotómetro marca Hewlett Packard modelo 8453 para usar a 652 nm, con Paso de luz de 1 cm.
- ii. Rota vapor.
- iii. Cabina de extracción de vapores orgánicos.

### Reactivos

- i. Agua destilada, o agua desionizada. Utilícela para preparar todos los
- ii. reactivos y diluciones.
- iii. Solución patrón de 1000 mg/L de sulfato de dodecilo expresada como 1000 mg
- iv. SAAM/L Utilice la sal sódica sulfato de dodecilo ( $C_{12}H_{25}NaO_4S$  PM = 288.38g) de pureza igual al 96%. Disuelva 1.042 g de la sal sódica en 500 mL de agua destilada, diluya a 1000 mL. Consérvese refrigerado.
- v. Solución de trabajo de 10 mg/L de la sal sódica. Tome 10 mL de la solución patrón de 1000 mg SAAM/L en un balón aforado clase A de 1000 mL y complete a volumen. Prepare esta solución a diario. Al preparar esta solución a partir del patrón de 1000 mg SAAM/L, es indispensable que lleve dicho patrón a 25 °C con el fin de homogeneizarlo ya que este presenta una ligera precipitación de la sal cuando la temperatura es inferior a la temperatura de trabajo del laboratorio.
- vi. Solución indicadora de fenolftaleína, alcohólica. Disuelva 80 mg de fenolftaleína
- vii. en 100 mL de metanol absoluto.
- viii. Hidróxido de sodio 1N. Disuelva 40 g de Hidróxido de Sodio al 100% en 1 litro de
- ix. agua destilada.
- x. Ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , 1N y 6N.
- xi. Cloroformo,  $CHCl_3$ . PRECAUCIÓN: El cloroformo es tóxico y un probable cancerígeno: Mantenga las precauciones adecuadas contra la inhalación y la exposición a la piel (Trabaje siempre en la cabina de extracción y utilice elementos de seguridad).



- xii. Azul de metileno 0.1 %. Disuelva 100 mg de azul de metileno (Eastman N° P573 equivalente) en 100 mL de agua destilada.
- xiii. Reactivo de azul de metileno: Transfiera 30 mL de la solución de Azul de metileno 0.1 % a un balón de 1000 mL, agregue 500 mL de agua destilada, 41 mL de  $H_2SO_4$  6 N y 50 g de  $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$  previamente disueltos en 200mL de agua destilada, agite hasta disolver, complete a volumen.
- xiv. Solución de lavado. Agregue 41 mL de  $H_2SO_4$  6 N a 500 mL de agua destilada en un balón de 1000 mL. Añada 50 g de  $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ . Agite hasta disolver y diluya a 1000 mL.
- xv. Peróxido de hidrógeno,  $H_2O_2$ , al 30%.

## Procedimiento

### *Extracción de la Muestra*

1. Vierta el volumen de estándar arriba indicado o el volumen de muestra conveniente así: 100 mL si la concentración de SAAM esperada es inferior a 3.0 mg SAAM/L o un volumen adecuado para que la concentración este entre 0.5 y 3.0 mg SAAM/L y adicione el volumen de agua necesario para completar 100 mL en un embudo de separación de 250 o 500 mL según convenga.
2. Agregue a cada muestra o estándar unas 3 gotas de indicador de fenolftaleína, adicione gota a gota  $NaOH$  1 N, hasta color rosado persistente, a continuación, adicione gota a gota  $H_2SO_4$  1 N justo hasta la desaparición del color rosado.
3. Adicione tres gotas de  $H_2O_2$  al 30%, para evitar la decoloración del azul de metileno por sulfuros, agite.
4. Añada 25 mL de reactivo de azul de metileno y 25 mL de cloroformo. Agite el embudo vigorosamente durante 30 segundos despresurizando el embudo después de cada extracción y deje que se separen las fases. Una excesiva agitación puede provocar emulsión. Para romper las emulsiones persistentes, añada un pequeño volumen de isopropanol (<10 mL); agregue el mismo volumen de isopropanol a todos los estándares. Generalmente para las curvas de calibración no se forma ningún tipo de emulsión. Algunas muestras requieren

un periodo más largo de separación de fases que otras. Antes de drenar la capa de cloroformo, mueva suavemente y deje reposar.

5. Separe la capa de cloroformo vertiendo en un segundo embudo de separación o en un vaso de 100 mL. Enjuague el vástago del primer embudo con una pequeña cantidad de cloroformo. Repita la extracción dos veces más utilizando 25 mL de cloroformo cada vez. Si el color azul de la fase acuosa se debilita o desaparece, deséchela y repita con un volumen menor muestra.
6. Combine todos los extractos de cloroformo en el segundo embudo de separación. Añada 50 mL de solución de lavado y agite vigorosamente durante 30 segundos; En esta etapa no se forman emulsiones. Deje reposar; y extraiga la capa de cloroformo a través de un embudo de vidrio pequeño de vástago delgado que contenga un tapón de algodón en un balón aforado de 100 mL clase A; el filtrado debe ser claro. Extraiga una vez más la solución de lavado con 25 mL de cloroformo. Recoja los extractos clorofórmicos en el balón de 100 mL, complete a volumen hasta la línea de aforo con cloroformo y mezcle bien.

#### **Medición espectrofotométrica:**

1. Encienda el Espectrofotómetro UV-VIS con la lámpara de tungsteno, 45 minutos antes de iniciar las lecturas, tenga en cuenta el manual TM0166, cuyo diagrama de flujo está ubicado en la pared al lado del equipo, para especificar los rangos de medición. La lectura de SAAM debe hacerse a 652 nm. Cargue la última curva de calibración.
2. Verifique que la celda de vidrio de 1 cm esté perfectamente limpia, si la observa manchada de color azul déjela en jabón, hágale un lavado con HCl al 5% y enjuáguela perfectamente con agua desionizada.
3. Almacene los datos en la carpeta del año correspondiente, en la sub carpeta Tensoactivos. Grabe la curva, los estándares y las muestras de dicha curva de calibración, archivándola por la fecha en que se realizó, dos dígitos para día mes y año (dd/mm/aa), en las carpetas Curvas, Estándares y Muestras respectivamente. Imprima el reporte en papel y entréguelo al Líder de análisis para su aprobación.

4. Para iniciar las lecturas fotométricas, coloque Cloroformo en la celda, léalo como blanco, verifique la observación de una línea recta horizontal en el rango de la longitud de onda de los 652 nm, lea el blanco de reactivos y codifíquelo como BLANCO, la absorbancia debe registrar cifras exponenciales de 10<sup>-3</sup> y 10<sup>-4</sup>, continúe con los estándares de control en orden creciente desde el de más baja concentración, léalos como muestras.
5. Registre los resultados de los estándares con 2 cifras significativas en la carta de control, verifique que los valores se encuentren dentro del rango de 2 (S) desviaciones estándar por encima ó por debajo, respecto del valor teórico esperado.
6. Determine la absorbancia y concentración de SAAM en mg/L a 652 nm frente a un blanco de Cloroformo. Procese el blanco de la misma manera que los estándares o muestras utilizando agua en lugar de muestra o estándar.

#### **Cálculos:**

Los resultados se reportan como mg/L de SAAM como sulfato de dodecilo. A partir de la curva de calibración, los valores interpolados en esta tanto para muestras como para estándares corresponden a mg SAAM/L.

El espectrofotómetro arroja resultados en mg SAAM/L de acuerdo al factor de dilución digitado en el momento de la lectura, aplicando la siguiente fórmula:

$$mg\ SAAM/L = m \times Absorbancia\ a\ 652nm$$

Donde:

m = inverso de la pendiente de la curva de calibración.

Absorbancia = Lectura realizada por el espectrofotómetro.

mg SAAM/L = Concentración de Tensoactivos calculada y registrada por el espectrofotómetro UV-VIS.

## **Anexo 11. Procedimiento, Equipo y materiales para la *determinación de Coliformes Fecales.***

### **Equipos y Materiales**

- i. Equipo de filtración: embudo y platina porosa que se puedan trabar entre sí y sean autoclavables; bomba de vacío; Kitasato de 1 litro; trampa de agua entre el Kitasato y la bomba de vacío.
- ii. Balanza con una sensibilidad de por lo menos 10 mg.
- iii. Incubadora de  $44.5 \pm 0.2$  °C.
- iv. Equipo de recuento: microscopio binocular con un aumento de 10 a 15X. (De preferencia).
- v. Autoclave
- vi. Mecheros
- vii. Placas de Petri estériles de plástico descartables ( o de vidrio) de 50 mm de diámetro aproximadamente u otro tamaño adecuado.
- viii. Filtros de nitrocelulosa cuadrículados estériles de  $0.45 \pm 0.02\mu\text{m}$  de diámetro de poro. Libre de glicerina y sin áreas hidrofóbicas.
- ix. Pinzas para filtros de acero inoxidable sin extremidades rugosas.
- x. Tubos de ensayo de vidrio estériles para diluciones con tapa de algodón o de rosca.
- xi. Pipetas de vidrio graduadas estériles.
- xii. Materiales de vidrio para preparación de los medios de cultivo.
- xiii. Termómetros calibrados para controlar las incubadoras de coliformes.
- xiv. *Reactivos*
- xv. Agua peptonada estéril al 1% y pH neutro.
- xvi. Etanol al 95%
- xvii. Medio de cultivo líquido M-FC
- xviii. Agar
- xix. Agua destilada

## Procedimiento

### 1. Preparación de las placas de Petri

Si las placas son de plástico pueden ser reutilizadas después de lavadas, si se tratan con hipoclorito y posteriormente con etanol 70% durante 30 minutos y luego se comprueba su esterilidad.

### 2. Preparación de los medios de cultivo

El medio de cultivo debe ser preparado como lo indica el envase, sin necesidad de ser autoclavado, agregándole agar al 1.5% y fundir. Una vez fundido y termostatzado a 45°C se reparte en las placas de Petri en una atmósfera aséptica, colocando aproximadamente 3 mL de medio por placa de 50 mm de diámetro.

### 3. Preparación de la muestra

El volumen de muestra a ser filtrado se determina de acuerdo a la densidad bacteriana esperada y el origen de la muestra. En caso de ser necesario se preparan las diluciones en agua peptonada estéril. Se recomienda filtrar 3 volúmenes diferentes de muestra en múltiplos de 10 o las diluciones realizadas, como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2. Volúmenes de muestra o de diluciones sugeridas para diferentes tipos de aguas**

Dilución	no	no	no	no	10	100	1000	10000
Toma	100	50	10	1	1	1	1	1
Subterráneas	X	X	X					
Agua de Aljibe	X	X	X					
Lagos, reservorios	X	X	X					
Recreacionales			X	X	X			
Ríos				X	X	X	X	
Desechos colorados				X	X	X		
Desechos crudos					X	X	X	X

Fuente: DINAMA, 1996

### 4. Filtración e incubación de la muestra

Descontaminar los embudos de filtración al inicio del procesamiento de cada muestra, humedeciendo el embudo con alcohol y luego flambearlo, una vez que el alcohol se

consume hacer pasar suficiente agua estéril para lavar el sistema y enfriarlo más rápidamente.

Colocar un filtro de nitrocelulosa estéril con la superficie cuadrículada hacia arriba sobre la porta filtros poroso del embudo, utilizando pinzas humedecidas con alcohol, flambeadas y a temperatura ambiente. Posicionar el embudo sobre éste y trabar el sistema. Verter el volumen a filtrar y filtrar. Luego de filtrada destrabar el sistema, retirar el filtro con pinzas estériles y colocarlo sobre la placa con medio de cultivo M-FC, evitando la formación de burbujas de aire.

Si el volumen a filtrar es pequeño (1 mL), colocar en el embudo aproximadamente 10 mL de agua peptonada estéril y luego la muestra, para lograr una mejor distribución de la misma sobre la membrana al ser filtrada.

Se recomienda procesar por duplicado cada volumen a filtrar.

La placa de Petri con el filtro se coloca en la estufa de incubación a  $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  en posición invertida durante 24 horas.

## 5. Recuento

Las colonias típicas de Coliformes fecales desarrolladas en el medio selectivo indicado son de distintas tonalidades de azul.

Las colonias grises, o crema son consideradas no Coliformes, aunque existen colonias de E.coli atípicas que se presentan de color crema por lo que se recomienda realizar la verificación.

Para el recuento utilizar preferentemente un microscopio binocular con un aumento de 10 o 15X y una fuente de luz fluorescente posicionada formando un ángulo de  $60-80^{\circ}$  con respecto al filtro.

## Cálculos y expresión de resultados

El recuento de colonias se realiza en filtros que contengan entre 20 y 60 colonias de Coliformes fecales típicas.

**Anexo 12. Informe de resultado de análisis realizados al efluente de la PTAR del municipio de San Lorenzo Ahuachapán.**

**INFORME DE RESULTADOS**

<b>DATOS DE CLIENTE</b>	
<b>Empresa:</b>	Alcaldía de San Lorenzo, Ahuachapán
<b>Dirección:</b>	Barrio el Centro, San Lorenzo, Ahuachapán
<b>Responsable:</b>	Alcaldía de San Lorenzo
<b>Teléfono:</b>	7524-8042
<b>Email:</b>	comunicaciones@alcaldiadesanlorenzo.gob.sv

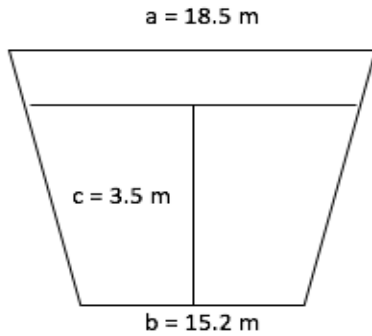
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	
<b>Origen:</b>	Agua residual descarga de PTAR
<b>Fecha de ingreso:</b>	02/09/2020
<b>Hora de ingreso:</b>	12:25 pm
<b>Fecha de análisis:</b>	02/09/2020
<b>DATOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA</b>	
<b>Muestreado por:</b>	Alcaldía
<b>Método de muestreo:</b>	RTS -13.05.01.18 Agua, Agua residual. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales. PS 06
<b>Tipo de muestra:</b>	Puntual

**REPORTE DE ANALISIS**

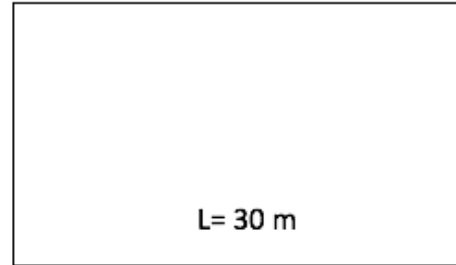
<b>DETERMINACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>NORMA AGUAS RESIDUALES RTS 13.05.01:18 Límite permitido</b>	<b>DICTAMEN</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L	571	150	Rechazado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) mg/L	250	60	Rechazado
Sólidos Sedimentables mg/L	8	1	Rechazado
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	187.6	60	Rechazado
pH (Medido en Campo)	6.95	6.0-9.0	Aceptado
Temperatura (Medido en Campo)	31.6	No especifica	-----
Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	711.2	No especifica	-----
Oxígeno disuelto mg/L	0.57	No especifica	-----
Potencial Oxidación-Reducción mV	-275	No especifica	-----
Turbidez NTU	155.7	No especifica	-----

Fuente: Alcaldía Municipal de San Lorenzo, 2020.

### Anexo 13. Cálculo de área de lagunas de oxidación.



Vista frontal



Vista aérea

Volumen de prisma trapezoidal =  $Area_{\text{trapecio}} * L = \text{Volumen de laguna}$

$$Area_{\text{trapecio}} = \frac{a + b}{2} * c$$

$$Area_{\text{trapecio}} = \frac{18.5\text{m} + 15.2\text{m}}{2} * 3.5 \text{ m} = 58.97\text{m}^2$$

$$Volumen \text{ de laguna} = 58.97\text{m}^2 * 30\text{m} = 1,769.25\text{m}^3$$



#### **Anexo 14. Cálculo del oxígeno requerido por laguna de oxidación y oxígeno suministrado por sistema de aireadores.**

Cálculo de oxígeno necesario total por volumen en laguna de oxidación en base a DQO

Tomamos como base la DQO de efluente 571 mg/L y pasamos de mg/L a kg/m<sup>3</sup>

$$DQO \text{ total} = 571 \frac{mg}{L} * \frac{1kg}{10^6mg} * \frac{1000L}{1m^3} = 0.571 \frac{kg}{m^3}$$

Para un volumen total de 1,769.25m<sup>3</sup> tenemos

$$O_2 \text{ total necesario} = 0.571 \frac{kg}{m^3} * 1,769.25m^3 = 1,010.24kg$$

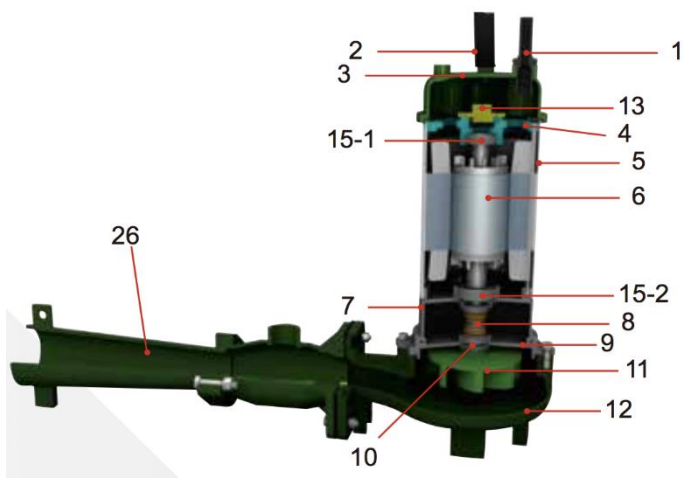
Cálculo de oxígeno teórico suministrado por sistema de sopladores

El rango nominal de O<sub>2</sub> que cada aireador puede alimentar es de 4.2 a .4.8 kg de O<sub>2</sub>/h, tomaremos un valor medio (4.5 kg de O<sub>2</sub>/h) entre estos para realizar los cálculos:

El O<sub>2</sub> que los 8 aireadores pueden suministrar por hora es:

$$Aire \text{ teorico} = 4.5 \frac{kg \text{ de } O_2}{h} x 8 \text{ aireadores} = 36 \frac{kg \text{ de } O_2}{h}$$

## Anexo 15. Partes de aireador sumergible seleccionado



**Figura 1. Partes del aireador sumergible**

Fuente: APEC PUMP, s.f.

**Tabla 3. Nombre y tipo de material de las partes que integran el aireador**

N.º	Parte	Material
1	Cable	H07RN-F /SJTOW/STOW
2	Empuñadura	Nylon 6/SS41
3	Cubierta del motor	Nylon 66/FC 200
4	Soporte	FC 200
5	Carcasa del motor + estator	SUS 304
6	Eje con rotor	SUS 410
7	Cámara de aceite	FC200
8	Sello mecánico doble	0.5~3HP: CA/CE;CA/CE 5~7.5HP: CA/CE;SIC/SIC
9	Carcasa del sello	Nylon / FC 200

Continúa

**Tabla 3. Nombre y tipo de material de las partes que integran el aireador  
(Continuación)**

<b>N.º</b>	<b>Parte</b>	<b>Material</b>
10	Sello de aceite	NBR
11	Impulsor	FC 200
12	Carcasa de bomba	FC 200
13	Protección	KLIXON
26	Aireador de chorro	FC 200
15-1	Cojinete superior	TPI
15-2	Cojinete inferior	TPI

**Fuente:** APEC PUMP, s.f.

Anexo 16. Vista en planta de aireador

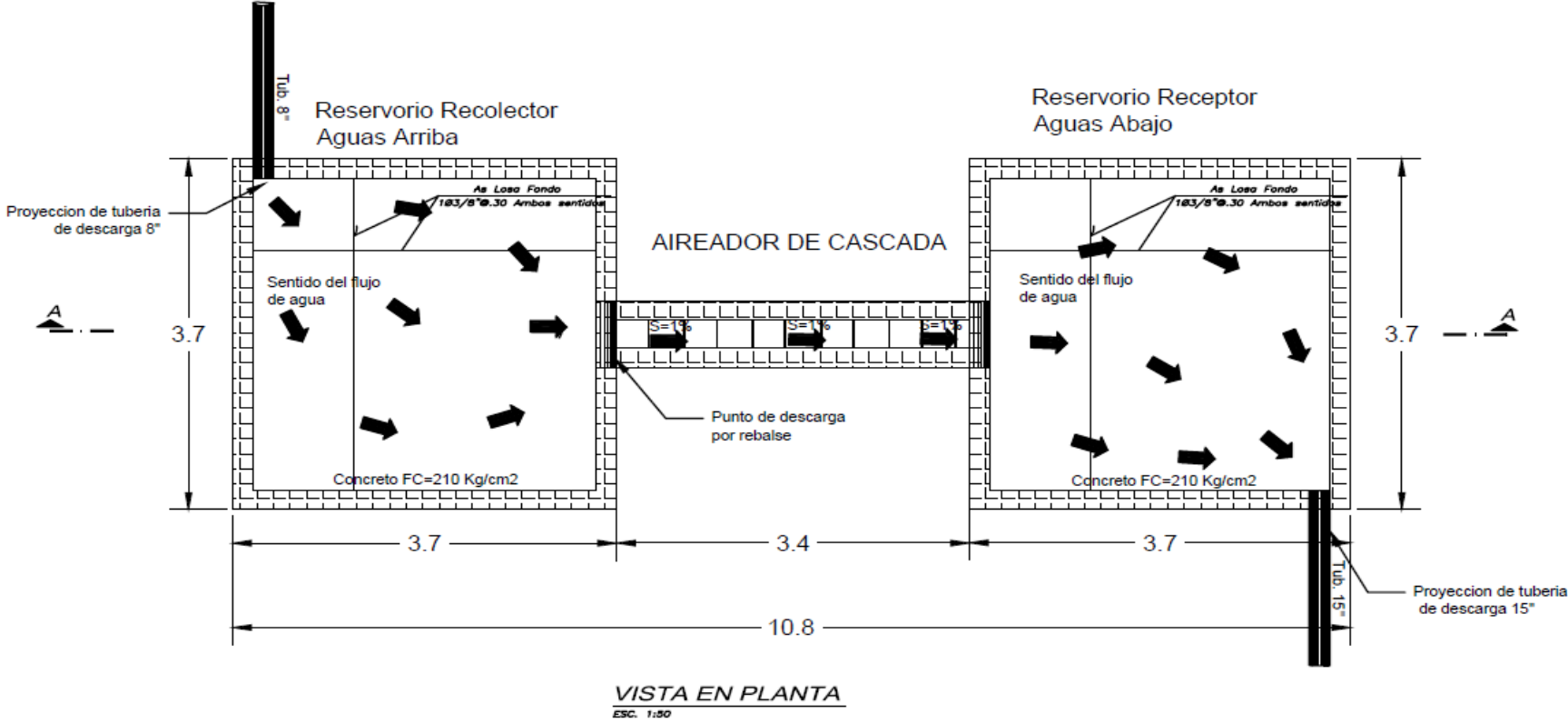


Figura 2. Vista en planta de aireador tipo cascada

### Anexo 17. Propuesta de ubicación de aireador tipo cascada

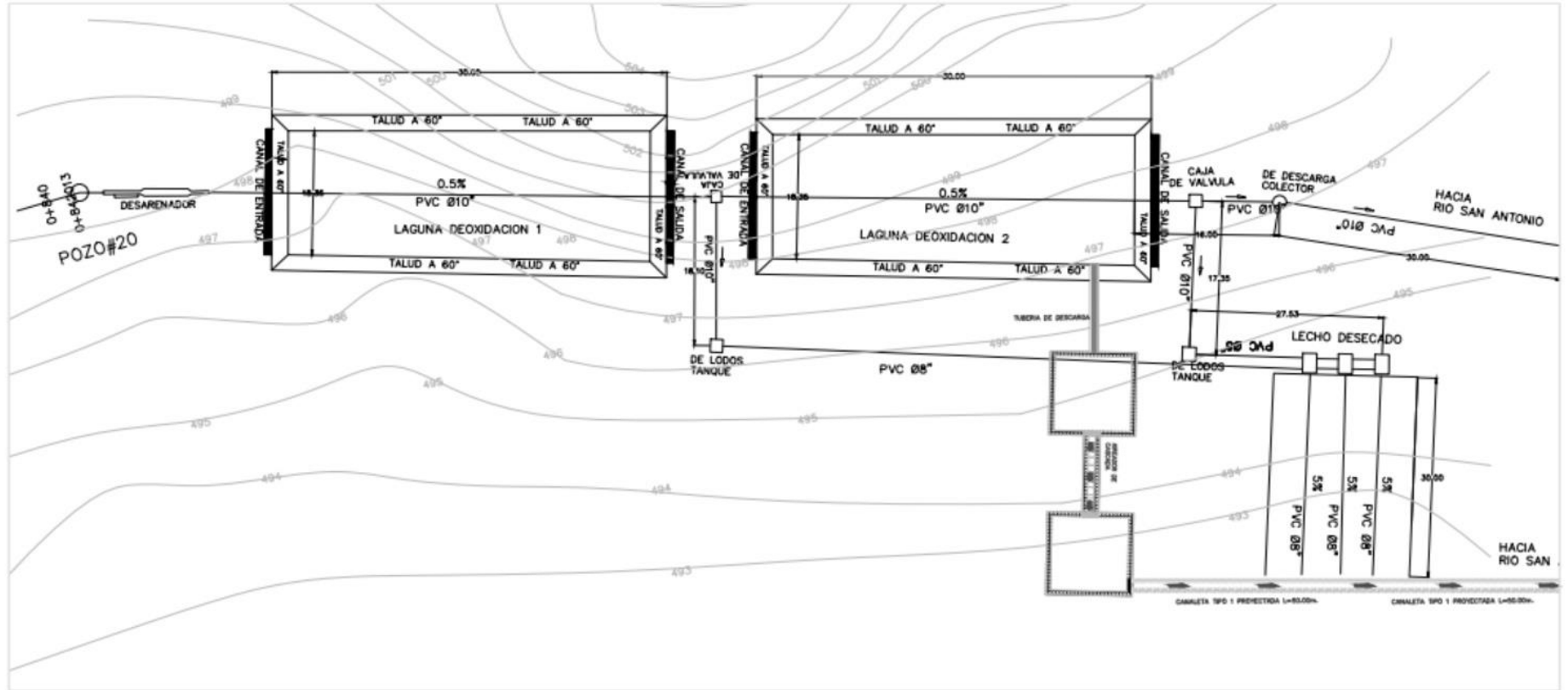
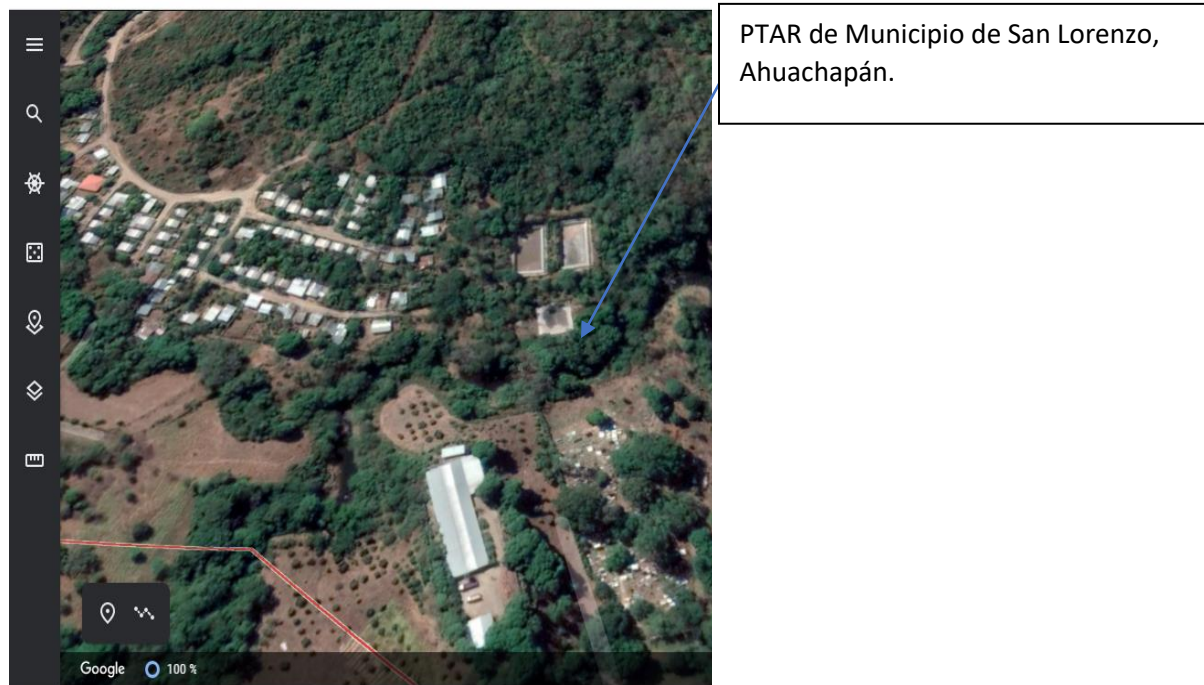


Figura 3. Ubicación propuesta para aireador de tipo cascada del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.

**Anexo 18. Zona geográfica de PART del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.**



**Figura 4. Zona geográfica de la PTAR del Municipio de San Lorenzo, Ahuachapán.**

**Fuente: Google Earth**

## Anexo 19. Materiales de construcción de aireador tipo cascada

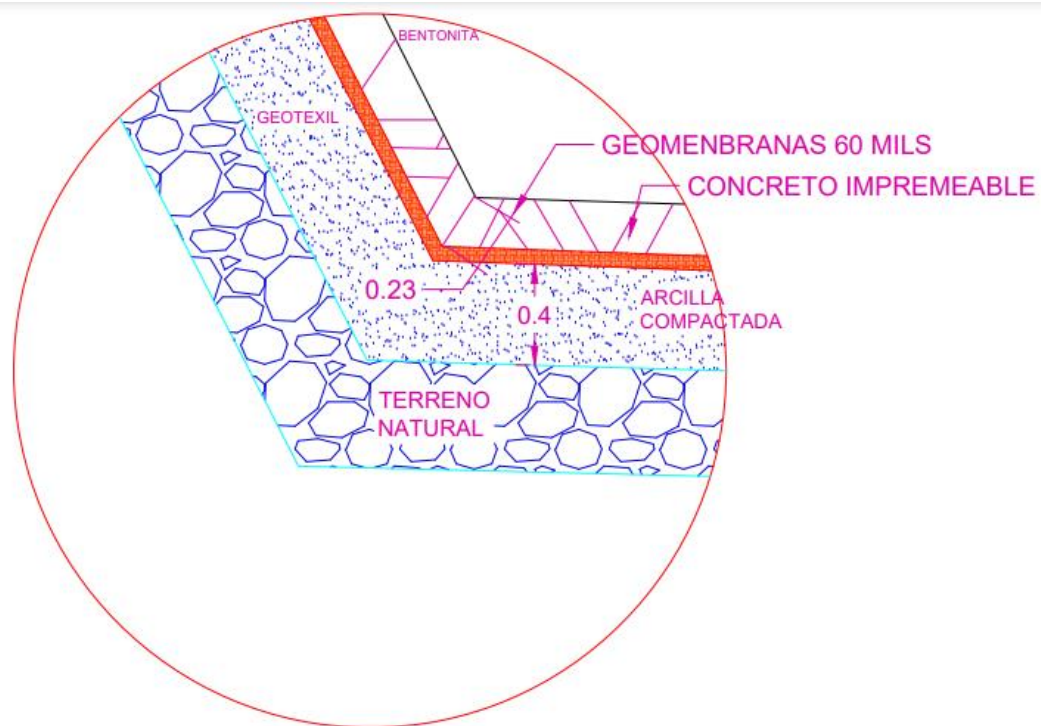


Figura 5. Vista lateral de Aireador de tipo Cascada y materiales de construcción.

## Anexo 20. Cuadro de costo financiero de aireador tipo cascada

Tabla 4. Costo de aireador tipo cascada

AIREADOR DE TIPO CASCADA						
Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Parcial Precio	Subtotal Precio
<b>1.00 CONSTRUCCIÓN DE AIREADOR</b>						<b>\$ 3,165.88</b>
1.01	Desbroce y limpieza, incluye el corte de maleza y de toda cobertura vegetal arbustiva, plantas con tallos de diámetros menores a 20 cm.	m2	25.00	\$ 0.86	\$ 21.50	
1.02	Excavación y Desalojo para Conformación de gradas disipadoras, incluyendo la carga, el desalojo, trasporte a botaderos menores a 1km, acomodo en forma permanente durante el acarreo y otros gastos relativos.	m3	24.50	\$ 5.33	\$ 130.59	
1.03	Concreto tipo $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , incluyendo el cemento tipo I, el aditivo, los agregados, el desperdicio, la preparación de las superficies de aplicación y otros gastos relativos.	m3	6.15	\$ 309.22	\$ 1,901.70	
1.04	Acero de refuerzo del concreto con varillas corrugadas grado 60, incluyendo el suministro, el transporte, el corte, la soldadura, hierro liso de 1/4", el doblado, la colocación, pruebas de laboratorio, reforzamientos, anclajes y otros gastos relativos.	kg	410	\$ 2.01	\$ 824.10	
1.05	Repello y afinado de superficies de concreto con mortero en una proporción 1:3	m2	13.00	\$ 6.87	\$ 89.31	
1.06	Rellenos compactados con material de préstamo, incluyendo la carga, el transporte, mezcla con el material del sitio, la colocación, la compactación y otros gastos relativos.	m3	12.10	\$ 16.42	\$ 198.68	
<b>2 CONSTRUCCIÓN DE PILAS DE CONCRETO</b>						<b>\$ 6,565.39</b>
2.01	Desbroce y limpieza, incluye el corte de maleza y de toda cobertura vegetal arbustiva, plantas con tallos de diámetros menores a 20 cm.	m2	75.00	\$ 0.86	\$ 64.50	
2.02	Excavación y Desalojo para Conformación de gradas disipadoras, incluyendo la carga, el desalojo, trasporte a botaderos menores a 1km, acomodo en forma permanente durante el acarreo y otros gastos relativos.	m3	55.00	\$ 5.33	\$ 293.15	
2.03	Concreto tipo $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , incluyendo el cemento tipo I, el aditivo, los agregados, el desperdicio, la preparación de las superficies de aplicación y otros gastos relativos.	m3	12.30	\$ 309.22	\$ 3,803.41	
2.04	Acero de refuerzo del concreto con varillas corrugadas grado 60, incluyendo el suministro, el transporte, el corte, la soldadura, hierro liso de 1/4", el doblado, la colocación, pruebas de laboratorio, reforzamientos, anclajes y otros gastos relativos.	kg	820	\$ 2.01	\$ 1,648.20	
2.05	Repello y afinado de superficies de concreto con mortero en una proporción 1:3	m2	22.00	\$ 6.87	\$ 151.14	
2.06	Rellenos compactados con material de préstamo, incluyendo la carga, el transporte, mezcla con el material del sitio, la colocación, la compactación y otros gastos relativos.	m3	17.90	\$ 16.42	\$ 293.92	
2.07	Tubería de PVC $\varnothing 15"$ de 160 PSI. de (según norma ASTM D2241), incluye el suministro, transporte, la colocación incluyendo el Suelo Cemento (e=0.20m) y arena (e=0.10 m) de apoyo, las pruebas de estanqueidad y otros gastos relativos.	ml	6.00	\$ 9.18	\$ 55.08	
2.08	Tubería de PVC $\varnothing 8"$ de 160 PSI. de (según norma ASTM D2241), incluye el suministro, transporte, la colocación incluyendo el Suelo Cemento (e=0.20m) y arena (e=0.10 m) de apoyo, las pruebas de estanqueidad y otros gastos relativos.	ml	6.00	\$ 6.20	\$ 37.20	
2.09	suministro y colocacion de malla geotextil bajo concreto tipo $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , empalmes, grapas y otros gastos relativos.	m2	28.60	\$ 7.65	\$ 218.79	
<b>TOTAL SIN IVA</b>						<b>\$ 9,731.27</b>
<b>IVA</b>						<b>\$ 1,265.07</b>
<b>TOTAL CON IVA</b>						<b>\$ 10,996.34</b>



Anexo 21. Cuadro de costo financiero aireadores sumergibles

Tabla 5. Costos de sistema de aireadores sumergibles

<b>CUADRO DE COSTOS</b>						
<b>SISTEMA DE AIREADORES SUMERGIBLES</b>						
ítem	Equipo/Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Parcial	Subtotal
<b>1.00 SISTEMA DE AIREADORES POR LAGUNA</b>						<b>\$ 29,800.00</b>
1.01	Aireador sumergible JA	-	8	\$ 3,725.00	\$29,800.00	
<b>2.00 MONTAJE MECÁNICO DE SISTEMA</b>						<b>\$ 3,720.00</b>
2.01	Transporte desde bodega de equipos hasta zona de instalación	-	1	\$ 920.00	\$ 920.00	
2.02	Montaje mecánico: Incluye accesorios necesarios y tuberías	-	1	\$ 2,800.00	\$ 2,800	
<b>TOTAL SIN IVA</b>						<b>\$ 33,520.00</b>
<b>IVA</b>						<b>\$ 4,357.60</b>
<b>TOTAL CON IVA</b>						<b>\$ 37,877.60</b>