

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**EVALUACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA RESIDUAL
DE LA LAGUNA DE LA MARALY DEL MUNICIPIO DE SOYAPANGO**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR

KAREN YAMILETH CHAVEZ QUINTANILLA

YOLANDA PATRICIA GARCIA AYALA

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIADA EN QUIMICA Y FARMACIA

ABRIL 2021

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANA

LICDA. REINA MARIBEL GALDAMEZ

SECRETARIA

LICDA. EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCION DE PROCESOS DE GRADUACION

DIRECTORA GENERAL

MSc. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

TRIBUNAL CALIFICADOR

**ASESORAS DEL AREA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS
FARMACEUTICOS Y COSMETICOS**

MSc. Rocío Ruano de Sandoval

Licda. Ariana Liseth García de Ventura

DOCENTE ASESOR

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras

AGRADECIMIENTO

Agradecida con Dios por darme sabiduría para llegar a esta etapa tan importante de mi vida y por nunca dejarme sola en los momentos más difíciles.

Le agradezco a mis padres Elida de Chávez y Jorge Chávez por el apoyo económico y emocional que me brindaron durante mi estudio, por ser mi pilar de inspiración, por sus consejos, por acompañarme en mis desvelos y madrugadas y nunca dejarme sola. A mis hermanitas Allison Chávez y Belliny Chávez por motivarme a continuar en la lucha, por estar conmigo siempre. De manera muy especial quiero agradecer a mi tía Yolanda Quintanilla por todo el apoyo que me dió durante mi carrera. A toda mi familia, gracias por sus oraciones y porque de una manera u otra contribuyeron en mi formación personal.

Le agradezco A la Alcaldía Municipal de Soyapango, por el tiempo invertido y facilidades brindadas, por permitirme llevar a cabo mi trabajo de investigación en el municipio.

A mi asesor de Tesis Henry Hernández por la paciencia y dedicación para finalizar el trabajo de graduación, estoy muy agradecida por el apoyo brindado. A todos los docentes que contribuyeron en mi formación profesional, en especial a las Licenciadas que integran el Departamento de Química y Farmacia en la FMO, muchas gracias por sus enseñanzas y consejos. A mis compañeros de Facultad, muchas gracias por la amistad que me dieron y por el apoyo mutuo que nos dimos. Quiero agradecer a mi mejor amiga y compañera de Tesis, Patricia García por su amistad y compañía en estos años.

Karen Yamileth Chávez Quintanilla

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios y a toda mi familia por todo su apoyo. De manera especial a mi madre Dinora Delgado por nunca dejarme sola y siempre apoyarme de forma incondicional. A mi padre Julio Bustamante por siempre darme su apoyo a pesar de la distancia. A mis hermanas Diana García e Ileana García, mi Tía María Delgado, mis primos Kriscia Delgado y Jefferson Delgado por siempre brindarme apoyo en los momentos difíciles durante estos años. A mis abuelos María Delgado y Miguel Ramos por todos sus consejos.

A nuestro Docente asesor Henry Hernández por el apoyo, paciencia y tiempo brindado para finalizar este trabajo.

A la Alcaldía Municipal de Soyapango por permitirnos realizar este trabajo esperando que les sea de utilidad.

A mi compañera de Tesis y mejor amiga Karen por todos estos años compartidos. A su Padre Jorge Chávez por el apoyo y tiempo que nos brindó durante la realización de este trabajo.

Patricia García

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a mis padres por ser las personas más personas más importantes de mi vida. Gracias papás por el apoyo que me dan, por ayudarme siempre, por ustedes soy la persona que soy.

Este logro es de ustedes.

Karen Yamileth Chávez Quintanilla

DEDICATORIA

A mis padres Dinora Delgado y Julio Bustamante por haberme forjado en la persona que soy en la actualidad. Muchos de mis logros se los debo a ustedes incluyendo este.

Patricia García

INDICE

Pág. N°

Resumen

Capítulo I

1.0 Introducción

xvii

Capítulo II

2.0 Objetivos

Capitulo III

3.0 Marco Teórico

3.1 Generalidades del agua y su importancia

22

3.2 Aguas residuales

22

3.2.1 Clasificación de aguas residuales

23

3.2.2 Aguas residuales en el salvador

24

3.3 Características de las aguas residuales

26

3.3.1 Características Físicas

26

3.3.2 Características Químicas

26

3.3.3 Características Biológicas

27

3.4 Contaminantes presentes en las aguas residuales

28

3.4.1 Contaminantes Orgánicos

28

3.4.2 Contaminantes Inorgánicos

29

3.5 Parámetros fisicoquímicos a determinar en el agua residual de la "Laguna de la Maraly"

30

3.5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno

30

3.5.2 Demanda Química de Oxígeno

35

3.5.3 Sólidos en Suspensión

38

3.5.4 Sólidos Sedimentables

39

3.5.5 Turbidez

40

3.5.6 pH	41
3.6 Toma de muestra y almacenamiento	42
3.7 Efecto de las aguas residuales en el medio ambiente	42
3.8 Control de calidad de métodos analíticos	
3.8.1 Comparaciones interlaboratorios	43
3.8.2 Ventajas de los ensayos de aptitud	45
3.8.3 Limitaciones de los ensayos de aptitud	46
3.8.4 Proveedor de ensayos de aptitud	46
3.8.5 Elección del método o procedimiento	47
Capítulo IV	
4.0 Diseño metodológico	49
4.1 Tipo de estudio	49
4.2 Investigación Bibliográfica	49
4.3 Investigación de campo	49
4.3.1 Universo	49
4.3.2 Muestra	50
4.3.3 Tipo de muestreo	50
4.3.4 Muestras	50
4.3.5 Toma de muestra	50
4.4 Parte experimental	52
4.4.1 Materiales, equipo y reactivos	
4.4.2 Recolección, almacenamiento y transporte de muestra	52
4.4.3 Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a los 5 días, por el método de Winkler modificado de la azida sódica	52
4.4.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO) por método colorímetro de reflujo cerrado	55
4.4.5 Determinación de Sólidos totales sedimentables	

4.4.6 Solidos totales suspendidos	56
4.4.7 Solidos totales	56
4.4.8 Solidos disueltos	57
4.4.9 Turbidez (método nefelómetro)	58
4.4.10 pH (método potenciómetro)	59
4.5 Ensayo de aptitud	60
Capítulo V	
5.0 Resultados y discusión de resultados	61
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	80
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones	83
Bibliografía	
Glosario	
Anexos	

INDICE DE TABLAS.

Tabla N°	Pág.N°
1. Resultados de la Demanda Quimica de Oxigeno a los 5 días correspondiente al mes de julio	62
2. Resultados de la Demanda Quimica de Oxigeno a los 5 días correspondiente al mes de agosto	63
3. Resultados de la Demanda Quimica de Oxigeno a los 5 días correspondiente al mes de septiembre	63
4. Resultados de la Demanda Quimica de Oxigeno a los 5 días correspondiente al mes de octubre	63
5. Resultados de la Demanda Quimica de Oxigeno a los 5 días correspondiente al mes de noviembre	64
6. Resultado de la lectura de estándares con sus respectivas concentraciones para la Demanda Química de Oxigeno	66
7. Promedio y sumatoria de los resultados obtenidos de estándares para la Demanda Química de Oxigeno	66
8. Absorbancia de muestras obtenidas por mes para la Demanda Química de Oxigeno	68
9. Resultados obtenidos por mes para Sólidos totales, disueltos y suspendidos	72
10. Comparación de resultados con el RTS 13.05.01:18 del análisis del agua residual de la Laguna de la Maraly, en el periodo de julio a noviembre de 2019.	75
11. Resultados y z-Scores para analitos enviados por Fapas.	76
12. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxigeno de la muestra utilizada en el Ensayo de Aptitud	77
13. Informe de resultados de análisis de la "Laguna de la Maraly"	140

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°

1. Ubicación geográfica del lugar de investigación
2. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno
3. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno
4. Determinación de Sólidos Suspendidos
5. Determinación de Sólidos Sedimentables
6. Determinación de Turbidez
7. Determinación de pH
8. Esquema de toma de muestra compuesta
9. Materiales, equipos y reactivos
10. Formato de etiqueta para la muestra de agua residual recolectada y etiquetado de la muestra para el análisis fisicoquímico del agua residual
11. Pretratamiento de la muestra para la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
12. Preparación de reactivos para la Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno.
13. Control del agua de dilución y blanco.
14. Esquema del procedimiento experimental para la Demanda Bioquímica de Oxígeno
15. Esquema del procedimiento experimental para la Demanda Química de Oxígeno
16. Esquema del procedimiento experimental para Sólidos Sedimentables
17. Esquema del procedimiento experimental para Sólidos Totales
18. Esquema del procedimiento experimental para

Solidos Disueltos

19. Esquema del procedimiento experimental para Turbidez
20. Esquema del procedimiento experimental para pH
21. Muestra de agua residual enviada por el proveedor FAPAS
22. Muestreo en la Laguna de la Maraly
23. Informe de resultados de análisis de Laguna de la Maraly

ABREVIATURAS

DBO o DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

FAPAS: Proficiency testing from Fera

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

ISO: Organización Internacional de Estandarización

OD: Oxígeno Disuelto

ONU: Organización de las Naciones Unidas

RTS: Reglamento Técnico Salvadoreño

NTU: Unidades Nefelométricas

RESUMEN

La laguna de agua residual situada en la Colonia Maraly del Municipio de Soyapango, cuya existencia tiene aproximadamente 15 años, es la principal responsable del padecimiento de enfermedades como Dengue, el virus del Zika y fiebre Chikungunya, esto debido a que la laguna se ha convertido en un foco de criadero del mosquito transmisor de estas enfermedades. Por tal razón el objetivo de esta investigación fue evaluar los parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, Turbidez, pH y Temperatura. Lo anterior se realizó durante un periodo de 5 meses de julio a noviembre de 2019 que comprendieron parte de la época lluviosa, así como parte de la época seca en el país y de esta manera mostrar como varían los resultados con respecto al tiempo y época del año. Estos resultados fueron comparados con los valores máximos permisibles para cada parámetro evaluado establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño de “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” RTS 13.05.01:18. Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios para la descarga sin previo tratamiento del agua residual de la laguna, ya que sobrepasaron los valores máximos permisibles para los parámetros evaluados que establece este reglamento.

El informe de resultados se envió a la Alcaldía Municipal vía electrónica, con el fin de que estos sean de utilidad para que posteriormente la entidad Municipal implemente un sistema de tratamiento de agua residual y que esta pueda ser descargada a un cuerpo receptor cumpliendo los límites establecidos reglamento.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

Las descargas de aguas de desechos de origen doméstico proveniente de la colonia Maraly, Colonia La Esperanza, Barrio San Antonio y otras zonas aledañas, en el municipio de Soyapango; hace 15 años dio lugar a la formación de una laguna de agua residual compuesta por aguas de uso doméstico y aguas lluvia conocida como la “Laguna de la Maraly”, la cual tiene una profundidad de aproximadamente 23 metros y hasta el momento el único tratamiento que recibe el agua de esta laguna es el rociamiento cada 3 meses con una solución de Fendona, dicha solución ayuda a controlar la reproducción de los mosquitos vectores de diversas enfermedades que son muy comunes en los alrededores del municipio.

Para la ejecución de la investigación se llevó a cabo una serie de análisis fisicoquímicos en el laboratorio de aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador en los cuales se obtuvieron resultados no satisfactorios para la descarga sin previo tratamiento del agua residual de la laguna ya que sobrepasaron los valores máximos permisibles para los parámetros evaluados que establece el Reglamento Técnico Salvadoreño “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” RTS 13.05.01:18. Por tal motivo se le recomienda a la Alcaldía Municipal de Soyapango evaluar la implementación de un sistema de tratamiento de agua residual conveniente para la posterior descarga, ya que según los resultados obtenidos se concluyó que el grado de contaminación de la Laguna de la Maraly es alto. Además de verificar el cumplimiento de las regulaciones establecidas para los desechos provenientes de las industrias, esto con el fin de evitar agravar el problema que existe en la comunidad.

Además con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados en el análisis se participó en un ensayo de aptitud mediante pruebas de comparación interlaboratorio, para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) que a pesar de obtener resultados

insatisfactorios debido a la incompatibilidad de las condiciones ambientales del país de origen de la muestra recibida con las condiciones ambientales de nuestro país desde el transporte hasta el almacenamiento de la muestra de agua residual.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1. Objetivo General:

Evaluar parámetros fisicoquímicos del agua residual de la “Laguna de la Maraly” del municipio de Soyapango.

2.2. Objetivos Específicos:

- 2.2.1. Analizar los parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendedos, Turbidez, pH y Temperatura como parámetro de control.
- 2.2.2. Comparar los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño de “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” RTS 13.05.01:18.
- 2.2.3. Participar en un ensayo de aptitud en los parámetros fisicoquímicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- 2.2.4. Elaborar un informe con los resultados obtenidos del análisis y enviarlos a la Alcaldía Municipal de Soyapango.

CAPITULO III.

MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO

3.1. Generalidades del agua y su importancia. ⁽¹⁰⁾

El agua es un compuesto que está formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que se representa por la fórmula H_2O . El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. El punto de congelación del agua es de $0^{\circ} C$ y su punto de ebullición de $100^{\circ} C$. Tiene la capacidad para disolver otros compuestos, por esta razón es llamada el disolvente universal. Es el compuesto más abundante y más ampliamente distribuido en la naturaleza; cubre las tres cuartas partes de la superficie de la tierra. Se encuentra en forma: sólida, líquida y gaseosa. La mayor parte del agua se encuentra acumulada en los mares y los océanos (agua salada), que sustenta una enorme cantidad de vida. Sin embargo, este tipo de agua no sirve para las plantas y los animales terrestres, estos necesitan el agua de poca cantidad de sales (agua dulce). El agua dulce es minoritaria y se encuentra en su mayoría congelada en los glaciales y en los polos. Así pues, el agua dulce que se puede aprovechar se encuentra en muy pocos lugares como son los lagos, aguas subterráneas y los ríos. De ahí que sea tan importante para el hombre.

Entre los múltiples usos a los que se destina el agua se encuentran: consumo doméstico, agricultura, ganadería, producción de energía, usos recreativos, preservación de flora y fauna y la industria. Esta última cada vez es más tratada y reutilizada para distintas tareas internas, permitiendo así ahorrar agua y recortar gastos.

La calidad del agua depende esencialmente de su composición y del tipo de agua y de su uso. Los contaminantes como microorganismos, los nutrientes, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites, sedimentos, etc. Constituyen la principal causa de degradación de la calidad de agua en el mundo.

3.2. Aguas Residuales. ^{(9) (25)}

Son aquellas aguas cuya calidad se vio afectada en el transcurso del tiempo por la influencia de las diversas actividades del ser humano, según la Organización para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en ingles FAO, define como aguas residuales:

Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales.

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

3.2.1. Clasificación de las Aguas residuales. ^{(5) (25)}

Según su origen las aguas residuales pueden clasificarse como:

- **Aguas Residuales Ordinarias o Domésticas:** Son el resultado de la utilización del agua en las diferentes actividades de un hogar, establecimientos comerciales privados y/o públicos. Los principales contaminantes que contiene son gérmenes patógenos, materia orgánica, solidos, detergentes, nitrógeno, fosforo y otros.

Las aguas residuales domésticas a diferencia de las aguas residuales industriales tienen una composición más o menos uniforme lo que facilita los procesos para su tratamiento. Sin embargo, su composición puede verse

influenciada por factores como hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza, etc.

La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo. Varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales.

- **Aguas residuales Especiales:** Son todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.

Dentro de esta clasificación se encuentran las Aguas residuales industriales que proceden de la variada actividad industrial. Existen tantos tipos de aguas residuales industriales como tipos de industrias por tal razón se caracterizan por su variedad y variabilidad; Aguas Residuales Pecuarias que son las que proceden de la actividad ganadera; Aguas residuales de origen agrícola cuyo origen se debe a el arrastre por las aguas lluvia y el agua de riego de los productos utilizados en la agricultura; Aguas de escorrentía urbana que son aquellas que provienen de las precipitaciones de aguas lluvias o nieve sobre la cuenca.

3.2.2. Aguas residuales en El Salvador. ^{(3) (19)}

El Salvador tiene una muy baja calidad ambiental debido al inadecuado manejo de desechos sólidos y peligrosos, el abuso de los agroquímicos en la agricultura, el inadecuado o nulo tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria, agroindustria y hogares.

Los distintos estudios y análisis de la calidad del agua reiteran que los desechos industriales, domésticos, agroindustriales y agrícolas son las principales fuentes de contaminación del agua en El Salvador.

Las descargas provenientes de la industria contienen en algunos casos metales pesados que dificultan su tratamiento y la mayoría de estas industrias no cuenta con permisos ambientales y no han implementado medidas de adecuación ambiental como sistemas de tratamiento acorde a sus vertidos.

Según la policía Nacional de medio ambiente (2012), los vertidos de aguas residuales sin tratar deterioran las aguas superficiales, encarece su potabilización, limita su uso en la producción y representa un serio riesgo para la salud.

La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), en el 2017 señaló que el país solo trata el 5 % de las aguas residuales. Por lo que Aproximadamente el 95% de las aguas residuales que se generan en el país se descargan sin ningún tipo de tratamiento a los diferentes cuerpos receptores y muchas de las aguas que son tratadas en los escasos sistemas de tratamiento de aguas residuales no cumplen con los límites de contaminación permitidos por las normativas vigentes. Según el informe del MARN de la calidad de agua de ríos en El Salvador para el año 2017, muestran una mejora notoria de la calidad de las aguas superficiales en comparación con años anteriores (los sitios con calidad pésima desaparecieron y la calidad de los sitios con calidad buena incremento), aunque lo ideal sería que todas las descargas de aguas residuales contaran con un sistema de tratamiento que remueva o disminuya los contaminantes del agua y que dichos sistemas de tratamiento posean niveles de eficiencia controlados, a efectos de asegurar que la calidad del agua a descargar cumple con los límites de contaminación permitidos por las normas respectivas dentro del país.

La Colonia la Maraly ubicada en el municipio de Soyapango en el departamento de San Salvador (Ver anexo N° 1) en los últimos 15 años ha sido una de las comunidades más afectadas del municipio en cuanto a la propagación de enfermedades virales debido a la formación y presencia de una laguna de agua residual que proviene de los diversos hogares que conforman esta colonia y otras zonas aledañas además de aguas lluvias.

Originalmente se llevaba a cabo un proyecto de obras públicas en beneficio de la comunidad que no se concluyó y con el pasar del tiempo al llegar la época lluviosa se acumuló parte del agua, posteriormente algunos de los habitantes de la zona empezaron a verter sus aguas de desecho en el lugar, ocasionando un aumento significativo de la profundidad de la laguna el cual actualmente sigue en aumento y aproximadamente tiene 23 metros de profundidad.

3.3. Características de las aguas residuales. ⁽¹⁸⁾

Las aguas residuales se caracterizan por su composición química, física y biológica.

3.3.1. Características físicas. ⁽¹⁸⁾

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, gusto, etc.) tienen incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Las características físicas de interés presentes en las aguas residuales son:

- **Sólidos totales:** Los sólidos totales son la sumatoria de los sólidos disueltos y de los sólidos en suspensión.
- **Sólidos Disueltos:** Es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales.
- **Sólidos en suspensión:** Los sólidos en suspensión son aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos, en virtud de su naturaleza coloidal y a la propiedad de suspensión de estas partículas.
- **Turbidez:** La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La turbidez del agua es producida por materias en

suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos.

3.3.2. Características Químicas. ⁽¹⁸⁾

Materia Orgánica: Los compuestos orgánicos generalmente están formados por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fosforo y hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%) y grasas y aceites (10%). Además, el agua residual contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser de muy simple a extremadamente compleja. Algunos ejemplos clásicos como los de los agentes tensioactivos, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y pesticidas de uso agrícola.

Materia Inorgánica: Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Estas concentraciones aumentan también debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua.

3.3.3. Características Biológicas. ⁽¹⁸⁾

Los principales grupos de organismos presentes tanto en agua residual como aguas superficiales se clasifican en eucariotas, arqueobacterias y en su mayoría pertenecen al grupo de las eubacterias.

La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semillas están clasificadas como eucariotas multicelulares. Los vertebrados y los invertebrados están clasificados como animales eucariotas multicelulares. Los virus también presentes en agua residual se clasifican en función del sujeto infectado.

3.4. Contaminantes presentes en las aguas residuales. ⁽¹⁸⁾

3.4.1. Contaminantes Orgánicos: Los principales grupos de compuestos orgánicos presentes en el agua residual son:

- **Proteínas:** La existencia de grandes cantidades de proteínas en agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.
- **Hidratos de carbono:** Los azúcares tienen tendencia de descomponerse, las enzimas de determinadas bacterias y fermentos dan lugar a un proceso de fermentación que incluye la producción de alcohol y dióxido de carbono. Los almidones por otro lado son más estables, pero se convierten en azúcares por la actividad bacteriana, así como por la acción de ácidos minerales diluidos.
- **Grasas y aceites:** Se encuentran entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. Si no se eliminan del agua residual antes del vertido pueden interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.
- **Agentes tensioactivos:** Están formados por moléculas de gran tamaño ligeramente solubles en agua y que son responsables de la aparición de

espuma en las plantas de tratamiento y en la superficie de cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual.

- **Compuestos Orgánicos volátiles (COV):** Son aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de los 100°C, y/o una presión de vapor mayor que 1 mm Hg a 25°C. Estos son de gran importancia por las siguientes razones: (1) Al encontrarse en estado gaseoso su movilidad es mucho mayor, con lo que aumenta la posibilidad de liberación al medio ambiente. (2) La presencia de algunos de estos compuestos en la atmosfera puede conllevar riesgos para la salud pública (3) Contribuyen al aumento de hidrocarburos reactivos en la atmosfera, lo cual puede conducir a la formación de oxidantes fotoquímicos.

- **Pesticidas y otros productos químicos de uso agrícola:** Son compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas, son tóxicos para la mayor parte de formas de vida y por lo tanto pueden constituir peligrosos contaminantes de las aguas superficiales.

3.4.2. Contaminantes Inorgánicos: Proceden de industrias mineras y de productos químicos inorgánicos. Entre ellos podemos citar amonio, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfitos y nitritos. También están los metales pesados, que se acumulan en la cadena alimentaria, a través de la captación por el fitoplancton, peces y organismos filtradores, y pueden afectar al hombre generando enfermedades como intoxicación por metales pesados, pérdida de memoria, crecimiento retardado, daño a los riñones, daño al sistema nervioso, cáncer de piel, pulmón e hígado entre otras. De todos los residuos industriales, el drenaje ácido de las minas alcanza el récord, en cuanto a perjuicios para las fuentes de agua, puesto que aumenta los costos de tratamiento y distribución y origina corrosiones.

3.5. Parámetros Fisicoquímicos determinados en el agua residual de la “Laguna de la Maraly”. ⁽¹⁸⁾

3.5.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). ^{(1) (4) (18)}

Es la cantidad de oxígeno que se requiere por los microorganismos para descomponer las sustancias orgánicas en aguas residuales. Por lo tanto, cuanto más material orgánico hay en las aguas residuales, mayor es la DBO. La determinación de la DBO está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Esta prueba es muy usada para determinar el grado de contaminación de desechos domésticos e industriales en términos de oxígeno que ellos requieran si son descargados en un agua natural, en la cual existen condiciones anaerobias. La demanda bioquímica de oxígeno es una de las pruebas más importantes para conocer la capacidad de contaminación de los cuerpos receptores, y las fuerzas contaminantes de las aguas negras y desechos industriales.

El periodo de incubación es, normalmente de 5 días a 20 °C, aunque también se puede adoptar diferentes periodos de tiempo y temperaturas. Independientemente del tiempo de duración del ensayo es importante asegurar que la temperatura se mantenga constante a lo largo del mismo. La medición del oxígeno disuelto se hace antes y después del periodo de incubación, y la DBO se calcula empleando las siguientes ecuaciones:

Cuando el agua de dilución no ha sido inoculada, ecuación 1

$$DBO \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{D1 - D2}{P} \quad (1)$$

Cuando el agua de dilución ha sido inoculada, ecuación 2

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P} \quad (2)$$

Dónde:

D_1 = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación de la misma, en mg/L.

D_2 = Oxígeno disuelto de la muestra diluida tras 5 días de incubación a 20°C, en mg/L.

P = Fracción volumétrica decimal de la muestra empleada

B_1 = Concentración de oxígeno disuelto en el testigo (Conteniendo solo agua de dilución), antes de la incubación, en mg/L.

B_2 = Concentración de oxígeno disuelto en el testigo (Conteniendo solo agua de dilución), después de la incubación, en mg/L.

F = Relación entre inóculo de la muestra e inóculo en el testigo (% inóculo en D_1) / (% inóculo en B_1)

La oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración es, en teoría, infinita. En un periodo de 20 días se completa la oxidación del 95 a 99 % de la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo se llega a oxidar entre el 60 y el 70 %. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en una incubadora. Los resultados obtenidos a diferentes temperaturas serán distintos, debido a que las velocidades de las reacciones bioquímicas son en función de la temperatura.

El valor máximo permisible de la DBO para aguas residuales de tipo ordinario es de 60 mg/L según el Reglamento Técnico Salvadoreño de “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” RTS 13.05.01:18.

3.5.1.1 Fundamento del método de Winkler. ⁽¹⁾⁽¹⁸⁾

Permite determinar el oxígeno disuelto en mg/L (OD) a través de una reacción química. Una solución de manganeso se añade a la muestra que se va a analizar. Después de tratarla con una base de yoduro, el manganeso reacciona con el oxígeno para formar un compuesto estable de manganeso y oxígeno (precipitado formado), luego se trata la solución con ácido, que disuelve el compuesto de oxígeno y manganeso y forma una cantidad proporcional de yodo libre (proporcional al oxígeno disuelto en la muestra), después se determina la cantidad de yodo en la solución titulando con una solución estandarizada de tiosulfato hasta que todo el yodo libre (I_2) es transformado en yoduro (I^-). Se usa almidón como indicador el cual se torna púrpura en presencia de yodo, pero es incoloro en contacto con yoduro. El color del almidón es el indicador de que todo el yodo se convirtió en yoduro. La cantidad de tiosulfato usado en la titulación es proporcional al yoduro, que es proporcional al OD. El OD se calcula determinando la cantidad de tiosulfato consumido en la titulación.

- Dilución. ⁽²⁾

Si el grado de contaminación es muy grande, el consumo de O_2 será superior a la máxima capacidad de saturación, que es de 9.17mg/L de modo que es necesario efectuar diluciones, que pueden ser variables y que el "Standard Methods for the examination of water and wastewater", aconseja las siguientes:

Líquidos residuales industriales concentrados: 0.1-1%.

Efluentes oxidados: 5-25%.

Aguas de ríos contaminados: 25-100%.

La naturaleza compleja y variable de estos líquidos, impiden aplicar en forma estricta los valores anteriores. Cuando se carece de experiencia o se trabaja con

muestras desconocidas, el método más seguro consiste en efectuar varias diluciones que cubran una amplia escala de valores.

- **Mecanismo del método de Winkler.** ⁽²⁾

1. El sulfato manganeso agregado a una muestra con el hidróxido de potasio reacciona produciendo un precipitado floculento de hidróxido manganeso.



2. Si el precipitado permanece blanco se debe a que no contiene oxígeno disuelto (OD). Si el precipitado es pardo oscuro, señala la existencia de OD que ha reaccionado con el hidróxido manganeso, oxidándolo.



3. Agregar ácido sulfúrico hasta que el precipitado se disuelva, formándose sulfato mangánico.



4. Este sulfato fuertemente oxidante reacciona inmediatamente con el yoduro de potasio presente en la solución según 1) fuertemente reductor, liberándose yodo, que da color característico a la muestra. (Ver Anexo N°2).



El yodo liberado es equivalente a la masa de oxígeno presente en la muestra, de donde:

$$8 \text{ g de O}_2 = 127 \text{ g de yodo}$$

$$1 \text{ Eq O} = 1 \text{ Eq de yodo}$$

1 ml de una solución 0.025 N de Na₂S₂O₃ equivale a 0.2 mg de O₂

Este resultado permite interpretar como, a través de la valoración de I₂ con Na₂S₂O₃, se está determinando el oxígeno disuelto en la muestra.

Si en la muestra se encontraran nitritos, al acidular la muestra con H₂SO₄, esta reacciona con el KI liberando I, que, al ser titulado con el Na₂S₂O₃, aparecerá como oxígeno disuelto (OD).



Si la reacción termina aquí, el error con bajos contenidos de nitritos en la muestra sería poco significativo, pero la muestra expuesta al aire disuelve oxígeno que reacciona con el N₂O₂, produciendo otra vez NO₂ que sigue liberando más yodo.



Por eso el error se disminuye valorando de inmediato y rápidamente la muestra a fin de que el ciclo se repita la menor cantidad de veces.

- **Control de glucosa-ácido glutámico.** ⁽¹⁾

Debido a que la prueba de DBO es un bioensayo, sus resultados pueden verse influidos en gran medida por la presencia de sustancias tóxicas o por el uso de un material de siembra de baja calidad.

Comprobar periódicamente la calidad del agua de dilución, la efectividad de la simiente y la técnica analítica mediante determinaciones de DBO en compuestos orgánicos puros y en muestras con adiciones conocidas.

En general para determinaciones del DBO que no requieren una simiente adaptada, utilizar una mezcla de 15 mg de glucosa/L y 150 mg de ácido glutámico/L como solución de control patrón. La glucosa tiene una tasa excepcionalmente alta y variable de oxidación, pero cuando se utiliza con ácido glutámico, dicha tasa se estabiliza, y es similar a la obtenida con muchas aguas residuales municipales.

Alternativamente, si un agua residual particular contiene un componente principal identificable que contribuya al DBO, utilizar este compuesto en lugar de la glucosa-ácido glutámico.

3.5.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO). ^{(1) (4) (26)}

Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos (Agente Oxidante Fuerte). Es decir, indica la cantidad de compuestos oxidables que se encuentran presentes en el agua. Se expresa en términos de miligramos de Oxígeno por Litro (mg O₂/L). Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural, en caso contrario debe acidificarse para su conservación.

La DQO es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO.

La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas residuales, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Esta prueba es útil para el seguimiento y control de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Limitaciones e Interferencias. ⁽²⁶⁾

1. Los compuestos alifáticos de cadena lineal volátiles no se oxidan de forma apreciable, debido a que se encuentran presentes en forma de vapor y no entran en contacto con el líquido oxidante. Estos compuestos se oxidan con

mayor eficacia en presencia de un catalizador como el Sulfato de Plata (Ag_2SO_4).

2. Al añadir Sulfato de Plata, reacciona con haluros como el Cloro, Bromo y Yodo para producir precipitados parcialmente oxidados, esto puede ser superado, aunque no completamente, mediante la adición de Sulfato de Mercurio HgSO_4 .
3. El Nitrito (NO_2^-) ejerce un DQO de 1.1 mg O_2/L . Ya que las concentraciones de NO_2 en el agua raramente exceden de 1 o 2 mg Nitrito por Litro, la interferencia se considera no significativa. Caso contrario la interferencia sea significativa, se adicionan 10 mg de Ácido Sulfámico por cada mg de NO_2 presente en el volumen de muestra.

- **Principio del Método de Análisis.** ⁽¹⁾ ⁽²⁶⁾

Las sustancias orgánicas y una serie de compuestos o iones inorgánicos que posee la muestra, se somete a reflujos con una solución caliente de Dicromato de Potasio en Ácido Sulfúrico, adicionando Sulfato de Mercurio para reducir la interferencia de los iones cloruro en el caso de ser necesario y utilizando Sulfato de Plata como catalizador. Las muestras se digieren a una temperatura de 148°C por 2 horas en un Termoreactor (Ver anexo N°3) y posteriormente se mide su absorbancia a una longitud de onda de 600 nm en un Espectrofotómetro Ultravioleta Visible.

Se prefiere el método colorimétrico con dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación. La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 al 100 por 100 del valor teórico.

Cuando una muestra es digerida, el ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) oxida el material de DQO en la muestra. Esto da como resultado un cambio en el estado de oxidación del cromo, de hexavalente (VI) a trivalente (III). Ambas especies de cromo son coloreadas y absorben en la región visible del espectro. El $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ absorbe

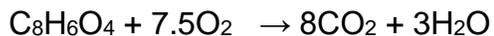
La utilización de la colorimetría (absorción visible-ultravioleta) para la determinación de la DQO se basa en los diferentes espectros de absorción del Cr(VI) (de color naranja, absorbe en longitudes de onda en torno a 440 nm) y el Cr(III) (de color verde, absorbe en torno a 600 nm), por lo que ambas especies se pueden detectar independientemente.

- **Curva de calibración.** ^{(1) (16) (22)}

Para la curva de calibración se utilizarán estándares de Ftalato acido de potasio partiendo de una solución de concentración de 850 mg/L con una DQO de 1000 mg de O₂/L.

Las alícuotas para los estándares son de 0.45 ml, 0.9 ml, 1.8 ml y 2.7 ml, llevándolos a un volumen final de 9.0 ml. Correspondientes a una concentración de 42.5 mg/L, 85 mg/L, 170mg/L y 255 mg/L respectivamente.

La reacción de oxidación del ftalato es:



3.5.3. Sólidos en suspensión. ⁽³⁾

Los sólidos en suspensión, es una medida de los sólidos sedimentables que pueden ser retenidos en un filtro.

Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas, equipos, etc. Se separan por filtración y decantación.

- **Fundamento.** ⁽¹⁾

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión (Ver anexo N°4). Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia

entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.

- **Interferencias.** ⁽¹⁾

1. Elimínense de la muestra las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos.
2. El residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, límitese el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg.
3. El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro, son los factores principales que afectan a la separación de los sólidos suspendidos de los disueltos.
4. Para las muestras ricas en sólidos disueltos, lavar meticulosamente el filtro para asegurar la eliminación del material disuelto.
5. Los tiempos de filtración prolongados, consecuencia de la obturación del filtro, pueden originar resultados altos debido a una cantidad excesiva de sólidos capturados en el filtro obturado.

3.5.4. Sólidos Sedimentables. ^{(1) (18)}

Es la cantidad de materia que sedimenta en una muestra de agua en un periodo de tiempo.

- **Fundamento.** ⁽¹⁾

Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen en ml/L (Método Volumétrico Ver anexo N°5) o de un peso en mg/L (Método Gravimétrico).

- **Interferencias.** ⁽¹⁸⁾

Las derivadas de la descomposición microbiológica de los sólidos por una incorrecta refrigeración de las muestras.

3.5.5. Turbidez. ^{(2) (5) (7)}

La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados a consumo humano y para numerosos usos industriales. La transparencia del agua es un factor decisivo para la calidad y productividad de estos sistemas. La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados y microorganismos.

La turbidez es una característica óptica que en términos generales describe la claridad u opacidad del agua. No tiene que ver con el color, sino que se relaciona más con la pérdida de transparencia debida al efecto de partículas en suspensión y material coloidal.

La turbidez impacta en los ecosistemas acuáticos por dispersar la luz solar y reducir la concentración de oxígeno. Afecta a la fotosíntesis, así como a la respiración y reproducción de los peces. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos tóxicos. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia menor será su calidad.

Según la Norma Obligatoria Salvadoreña NSO 13.49.01:09 La Turbidez no se incrementará en 5 unidades en un cuerpo receptor de aguas.

- Fundamento del método. ^{(2) (7)}

El método usado para determina la turbiedad, es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro (Ver anexo N°6) y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelometría (NTU). Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones

de medida. Cuanto mayor sea la intensidad de luz dispersada, mayor será la turbiedad.

- **Interferencias.** ⁽²⁾

- 1) La presencia de escombros flotantes y sedimentos gruesos que se asientan rápidamente dará lecturas bajas.
- 2) Burbujas de aire finamente divididas pueden causar lecturas altas.
- 3) Materiales absorbentes de luz tales como carbón activado en concentraciones significativas pueden causar lecturas bajas.

3.5.6. pH. ⁽²⁾

La concentración de ion hidrogeno es un parámetro de calidad importante tanto en el caso de agua natural como de agua residual. En un efluente doméstico alcanza un valor aproximado de 7 u 8. Cuando es más bajo indica la existencia de volcamientos ácidos y si es alto, estos son alcalinos y ambos provienen de comercios o industrias. El agua residual con concentraciones inadecuadas de ion hidrogeno presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos. Los valores de pH más adecuados para los procesos aerobios en el tratamiento de aguas residuales, generalmente varían entre 6.5 y 7.5.

En los sistemas biológicos, el valor del pH puede experimentar variaciones:

1. Pasar de la región ácida a la neutra como resultado de la descomposición de los ácidos orgánicos.
2. Pasar de la región alcalina a la neutra como resultado del efecto neutralizante del bióxido de carbono de la producción biogénica.
3. Pasar a una condición ácida como resultado del proceso de nitrificación o de la oxidación de los compuestos sulfurosos convirtiéndolos en ácido sulfúrico.
4. Pasar a una alcalina como resultado de la descomposición de los componentes orgánicos de las sales alcalinas.

- **Fundamento del método.** ⁽²²⁾

El pHmetro (Ver anexo N°7) mide el voltaje entre dos electrodos y muestra el resultado convertido en el valor de pH correspondiente de la muestra problema. Comprende un amplificador electrónico simple y un par de electrodos, o alternativamente un electrodo combinado, y una pantalla calibrada en unidades de pH.

3.6. Toma de muestra y almacenamiento. ⁽¹⁾

- Recolectar las muestras en frascos de plástico o de vidrio.
- Las muestras que contengan sólidos sedimentables deben mezclarse muy bien para homogenizar y obtener una muestra representativa.
- Las muestras se conservan a, o por debajo de, 4 °C desde el momento de su recogida y se reporta junto con los resultados la duración y temperatura del almacenamiento.
- El tiempo máximo de vida útil de las muestras es de 24 horas.

3.7. Efectos de las aguas residuales en el medio ambiente. ⁽³⁾

Cuando las aguas residuales principalmente provenientes de ciudades y de la industria, son descargadas en el agua natural, cambian su composición química y física, lo que puede traer consigo a una variedad de enfermedades, siendo las personas más afectadas son aquellas que viven cerca de cuerpos contaminados y aquellas que no tienen un acceso alternativo a agua o un correcto saneamiento.

El uso de agua de baja calidad podría tener impactos directos e importantes en su uso productivo, tales serían la irrigación, con grandes efectos sobre la degradación de la tierra, producción de cultivos y, en consecuencia, los ingresos en zonas rurales y la seguridad alimentaria (ONU, 2011).

En el medio ambiente, los efectos de las aguas residuales sin tratamiento vertidas a efluentes naturales, ocasiona la disminución peces y de cualquier organismo que no pueda adaptarse a las nuevas condiciones impuestas, la presencia de sustancias o residuos que son tóxicos para las plantas, y el desequilibrio general del sistema natural.

Por lo anterior, el tratamiento de las aguas residuales es una necesidad que tiene la sociedad para proteger el medio ambiente y garantizar el bienestar humano, pues éstas aguas representan un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de las mismas se pueden transmitir innumerables enfermedades; lo cual genera grandes impactos a la población y la economía de los países (Villegas & Vidal, 2009).

3.8. Control de Calidad de Métodos Analíticos.

3.8.1. Comparaciones interlaboratorios. ⁽²¹⁾

Las comparaciones interlaboratorios, según la norma ISO 17043:2010, se definen como “organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre el mismo ítem o ítems similares por dos o más laboratorios de acuerdo con condiciones predeterminadas”.

Las comparaciones interlaboratorios son organizadas en todos los niveles científicos, pero los objetivos, protocolos y participantes varían. Se utilizan ampliamente para varios propósitos y su uso está aumentando internacionalmente.

Para la evaluación del desempeño se establece un valor asignado X y una desviación estándar, a partir de los cuales se calcula el estadístico correspondiente para el resultado del laboratorio x , mediante la siguiente formula:

$$z = (x - x_a) / \sigma$$

Donde:

X: Resultado reportado por los participantes

X_a: Valor asignado por el proveedor

σ: Desviación estándar

La desviación estándar para todos los analitos se derivó de un error tolerable apropiado de más o menos 20% del valor asignado.

La evaluación de los valores de Z se realiza atendiendo a:

$Z \leq 2.0$ se considera satisfactorio

$2.0 < Z < 3.0$ se considera como cuestionable (señal de aviso)

$Z \geq 3.0$ se considera como insatisfactorio (señal de acción).

La participación en el ensayo de aptitud para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno se realizó con el fin de reportar datos confiables a la Alcaldía Municipal de Soyapango mediante la evaluación del desempeño del Laboratorio de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, debido a que los métodos para la determinación de dichos parámetros no se encuentran validados.

Algunos propósitos típicos para las comparaciones interlaboratorios son: ⁽¹⁸⁾

- a) Evaluar el desempeño de los laboratorios para llevar a cabo ensayos o mediciones específicos y hacer el seguimiento del desempeño continuo de los laboratorios.
- b) Identificar problemas en los laboratorios e iniciar acciones para la mejora que, por ejemplo, pueden estar relacionadas con procedimientos inadecuados de ensayo o medida, eficacia de la formación y supervisión del personal o la calibración de los equipos.
- c) Establecer la eficacia y la comparabilidad de los métodos de ensayo o medida.
- d) Proporcionar confianza adicional a los clientes de los laboratorios.

- e) Identificar las diferencias entre laboratorios.
- f) Instruir a los laboratorios participantes sobre la base de los resultados de dichas comparaciones.
- g) Validar las estimaciones de incertidumbre declaradas.
- h) Evaluar las características de funcionamiento de un método (a menudo descritas como pruebas de colaboración).
- i) Asignar valores a los materiales de referencia y evaluar su adecuación para ser utilizados en procedimientos de ensayo o medida específicos.
- j) Apoyar las declaraciones de equivalencia de las mediciones de los Institutos Nacionales de Metrología a través de “comparaciones clave” y comparaciones complementarias realizadas en nombre de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y las organizaciones de metrología regionales asociadas.

Los ensayos de aptitud comprenden el uso de comparaciones interlaboratorios para la determinación del desempeño de los laboratorios, según se indica en los puntos a) hasta g). Los ensayos de aptitud no se ocupan normalmente de los propósitos, h), i), j), porque en estas aplicaciones se asume que los laboratorios son competentes. Sin embargo, estas aplicaciones pueden utilizarse para proveer demostraciones independientes de la competencia de los laboratorios.

3.8.2. Ventajas de los Ensayos de Aptitud. ⁽⁸⁾

La participación en EA posibilita la comparación de los propios resultados con los obtenidos por otros laboratorios. También puede proveer de:

- a) Una evaluación regular, objetiva e independiente de la calidad de los análisis de rutina.
- b) Retroalimentación que estimula la mejora del trabajo técnico.
- c) Información comparativa acerca del método, así como del desempeño del instrumento.

3.8.3. Limitantes de los ensayos de Aptitud. ⁽⁸⁾

Idealmente, las muestras para EA son similares en naturaleza a las muestras de rutina y lo suficientemente homogéneas y estables para no influir en la evaluación del desempeño de los participantes. Debido a aspectos prácticos, las muestras para EA algunas veces son procesadas, por ejemplo, estabilizadas y/o liofilizadas. Los participantes deben estar conscientes de esto.

Los esquemas de EA pueden ser organizados y evaluados en muchas formas diferentes. No existe un protocolo perfecto para los laboratorios y sus clientes, así como para las entidades de acreditación y de regulación, puede ser importante conocer si el mismo resultado es juzgado de manera diferente por distintos proveedores de EA.

3.8.4. Proveedor del Ensayo de Aptitud. ⁽²¹⁾

Es la organización que es responsable de todas las tareas relacionadas con el desarrollo y la operación de un programa de ensayos de aptitud.

El desarrollo y operación de programas de ensayos de aptitud deben estar a cargo de proveedores de ensayos de aptitud que tengan competencia para llevar a cabo comparaciones interlaboratorios y acceso al conocimiento y experiencia correspondientes al tipo particular de ítems de ensayo de aptitud. Los proveedores de ensayos de aptitud o sus subcontratistas también deben tener competencia en la medida de las propiedades que se determinan.

El laboratorio que realizará la evaluación de las pruebas de aptitud para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) para esta investigación será Fapas, el cual es un programa de pruebas de ensayos de aptitud en química de alimentos, microbiología alimentaria, alimentos genéticamente modificados y química ambiental y del agua. Proporciona una evaluación independiente del rendimiento del laboratorio y compara los

resultados con los laboratorios de todo el mundo que también participan en las pruebas de aptitud.

Es un proveedor de confianza de pruebas de ensayos de aptitud desde 1990 y que ha sido acreditado según ISO 17043 “Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud”. Los resultados emitidos por el programa reciben un análisis estadístico riguroso por los expertos de pruebas de ensayos de aptitud, además sus informes son confidenciales detallados con comentarios claros y comparaciones de métodos.

Se llevará a cabo la prueba de ensayos de aptitud Demanda de Oxígeno en Agua Residual con el código FWDE-1EWW1. El cual se analizará con la misma metodología a seguir para las muestras de agua residual de la “laguna de la Maraly”.

3.8.5. Elección del método o procedimiento. ⁽²¹⁾

El laboratorio que desea realizar las comparaciones interlaboratorios utilizan el método de ensayo, procedimiento o medida de su elección, siguiendo un procedimiento coherente con los realizados habitualmente, no obstante, el proveedor de ensayos de aptitud puede exigir a los laboratorios participantes que utilicen un método específico de acuerdo con el diseño del programa de ensayos de aptitud.

En el caso que se permite a los participantes utilizar el método de su elección, el proveedor de ensayos de aptitud debe:

- a) Tener una política y seguir un procedimiento para la comparación de resultados obtenidos por diferentes métodos de ensayo.
- b) Tener el conocimiento, que métodos de ensayo o medida son técnica equivalentes, y tomar las medidas para evaluar los resultados de los participantes utilizando estos métodos como corresponde.

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. TIPO DE ESTUDIO.

Transversal: La investigación se considera transversal porque se evaluaron parámetros fisicoquímicos en determinado periodo de tiempo, interesados únicamente en conocer la situación actual de este problema.

Experimental: El trabajo de investigación es experimental porque se realizó un estudio a nivel de laboratorio donde se midieron los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua residual

4.2. INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA.

La investigación bibliográfica se realizó con la revisión de libros oficiales de análisis de agua, tesis y documentación en general referente al tema disponible en las bibliotecas de:

- “Dr. Benjamin Orozco” de la Facultad de Química y Farmacia
- “Félix Choussy” de la Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Central de la Universidad de El Salvador.
- Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador.
- Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA)
- Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer (USAM)
- Internet.

4.3. INVESTIGACION DE CAMPO.

4.3.1. Universo:

Aguas residuales de todo El Salvador.

4.3.2. Muestra:

Agua residual de la Laguna de la Maraly del municipio de Soyapango.

4.3.3. Tipo de Muestreo: El muestreo fue de tipo dirigido y puntual ya que se necesitaba llevar a cabo los análisis inmediatamente después de la toma de muestra.

4.3.4. Muestras: Se obtuvo una muestra compuesta formada por tres muestras simples de tres puntos diferentes de la laguna de la Maraly. En total se obtuvieron 5 muestras compuestas, correspondientes a los meses de julio a noviembre de 2019 (Ver Anexo N° 5)

4.3.5. Toma de muestra

- Se realizó una reunión con las autoridades municipales del departamento de medio ambiente de la alcaldía municipal de Soyapango para conocer la situación actual la de la “Laguna de la Maraly” y coordinar las visitas de campo a la “Laguna de la Maraly” para seleccionar convenientemente los puntos de muestreo.
- Las 3 muestras simples se recolectaron en frascos de polietileno con capacidad de un litro, se ambientaron tres veces con agua residual y se descartaron los lavados
- Se llenó hasta rebosar el frasco, evitando que quedaran cámaras de burbujas.
- Se tomó una muestra compuesta, recolectando agua residual de tres puntos diferentes de la laguna.

- Luego se unieron en un solo recipiente y se homogenizaron, tomando de esta muestra compuesta los volúmenes correspondientes para cada prueba.
- Se almacenó la muestra en una hielera, a una temperatura entre 4 a 6 °C para su transporte hasta el Laboratorio y posterior análisis.
- Se tomaron 5 muestras compuestas (mezcla de los tres puntos) en la “Laguna de la Maraly” en la colonia Maraly del municipio de Soyapango, realizando 5 visitas en 5 meses, distribuidas de julio a noviembre de 2019.
- Se procesaron y analizaron una vez por mes los siguientes parámetros fisicoquímicos en las 5 muestras obtenidas: La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos, Sólidos Sedimentables, Turbidez, pH y temperatura como parámetros de control. Evaluando 7 parámetros por muestra haciendo un total de 35 análisis.
- Se analizó una muestra estandarizada de agua residual enviada por el proveedor de ensayo de aptitud (Fapas) para la participación en un ensayo de aptitud para demanda de oxígeno con el código FWDE-1EWW1.
- Los resultados obtenidos de la muestra para Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno se reportaron al proveedor y posteriormente él envió un informe por vía electrónica con los resultados de todos los laboratorios participantes para compararlos y conocer los datos reales de los parámetros analizados.
- Se participó en un ensayo de aptitud para los parámetros de Demanda de Oxígeno con el proveedor Fapas en el programa de junio a enero de 2020. Para el análisis estadístico de los resultados el proveedor de ensayo de

aptitud utiliza el sistema de valoración numérica del Z-score con sus correspondientes criterios de evaluación.

- Los valores asignados se utilizaron en combinación de la desviación estándar de competencia para calcular una puntuación Z.

4.4. PARTE EXPERIMENTAL.

4.4.1. Materiales, Equipos y Reactivos. (Ver anexo N° 6)

4.4.2. Recolección, almacenamiento y transporte de muestras.

- Las muestras se recolectaron en frascos limpios de polietileno de 1 L de capacidad.
- Los frascos se sumergieron en el agua hasta dejarlos completamente llenos, teniendo la precaución de que no se formaran burbujas de aire en el interior.
- Se Identificaron las muestras con una etiqueta que contiene la información necesaria. (Ver anexo N° 7).
- Las muestras fueron transportadas en hieleras a 4 °C hacia el Laboratorio de Agua de la Facultad de Química y Farmacia para su análisis el mismo día del muestreo.

4.4.3. Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días por el Método de Winkler modificado de la azida sódica. ⁽⁹⁾

- a) Tomar 500 mL de muestra compuesta recolectada.
- b) Verificar el pH de las muestras.
- c) Neutralizar las muestras a un pH entre 6,5 y 7,5 con una solución de H₂SO₄ 1 N o NaOH 1 N de modo que no diluya la muestra en más de 5%. (Ver Anexo N° 8)
- d) Preparar el agua de dilución. (Ver anexo N° 9)

- e) Llevar las muestras por duplicado (Frascos al inicio y otros después de 5 días de incubación). (Ver anexo N° 10)
- f) Etiquetar los frascos Winkler a utilizar para el blanco y colocar fecha de análisis
- g) Preparar los frascos para blanco añadiendo únicamente agua de dilución hasta rebosar.
- h) Etiquetar los frascos Winkler de cada muestra con: Número de muestra, Dilución, fecha de siembra, y etiquetar si se utiliza simiente control.
- i) Colocar directamente en el frasco (capacidad del frasco de 300 mL) los mL de muestra equivalentes al porcentaje de cada muestra:

Muestra 1

300 mL \longrightarrow 100 %

0.5 mL \longrightarrow x

$$x = 0.16 \%$$

por lo tanto, la concentración de la muestra será de 0.16%.

Muestra 2

300 mL \longrightarrow 100 %

1.0 mL \longrightarrow x

$$x = 0.33 \%$$

1.0 mL por lo tanto la concentración de la muestra será de 0.33%.

Muestra 3

300 mL \longrightarrow 100 %

3.0 mL \longrightarrow x

$$x = 1.0 \%$$

3.0 mL por lo tanto la concentración de la muestra será de 1.00%.

- j) Llenar los frascos conteniendo la muestra con agua de dilución (el pH de la muestra debe estar entre 6.5 y 7.5)
- k) Cuando el pH de la muestra está fuera del rango de 6.5 – 7.5 sembrar el remanente de agua de dilución con simiente control y llenar los frascos que lo necesitan. ⁽¹⁾
- l) Cerrar los frascos herméticamente y homogenizar (verificar que no queden burbujas de aire).
- m) Incubar durante 5 días a $20^{\circ}\text{C}\pm 1$ los frascos duplicados de DBO.
- n) Destapar el resto de frascos y agregar a cada uno 2 mL de sulfato manganeso, 2 mL de la solución de álcali yoduro-azida, cerrar el frasco herméticamente.
- o) Mezclar las muestras invirtiendo los frascos, dejar sedimentar hasta que el floculo formado se encuentre a la mitad del volumen del frasco. Repetir este paso.
- p) Añadir 2 mL de ácido sulfúrico concentrado (el precipitado deberá desaparecer)
- q) Para titular el volumen correspondiente a 200 mL de muestra se procede de la siguiente manera:
Medir con una probeta de 100 mL, 97 mL de la solución y descartar de modo que en el frasco quedaran 203.00 mL de solución
- r) Introducir un agitador magnético en el frasco que contiene la solución
- s) Titular las muestras con tiosulfato de sodio 0.025N agitando continuamente hasta un color amarillo pálido.
- t) Agregar 1 mL de solución de almidón y continuar valorándose hasta la desaparición de color azul (Agitar para asegurar que la muestra se mantiene clara)
- u) Anotar los mL de tiosulfato de sodio 0.025N gastados en cada valoración.
- v) Determinar el OD del resto de frascos luego de 5 días de incubación siguiendo los pasos i) a t). (Ver anexo N°11)

4.4.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO) por el Método Colorimétrico de Reflujo Cerrado. ⁽²¹⁾

- a) Tomar 1 litro de la muestra compuesta recolectada.
- b) Preparar los reactivos a utilizar para el análisis: ácido sulfúrico-sulfato de plata (A), la solución de digestión (B) y Ftalato ácido de potasio.
- c) Numerar 6 tubos de vidrio de 10 mL con tapón de rosca. Tubo 1 Muestra, tubo 2 blanco y del tubo 3 al 6 estándares de Ftalato ácido de potasio.
- d) En el tubo 1 verter cuidadosamente 2 mL de la solución de digestión (B), 3 mL de la muestra que se analiza y 4 mL de la solución (A).
- e) En el tubo 2 (blanco) introducir 2 mL de la solución de digestión (B), 4 mL de la solución (A) y sustituir los 3 mL de la muestra por 3 mL de Agua destilada.
- f) En el tubo 3, colocar 2 mL de solución de digestión (B), 4 mL de la solución (A) y 0.45 mL de Ftalato ácido de potasio y 2.55 mL de agua destilada.
- g) En el tubo 4, colocar 2 mL de solución de digestión (B), 4 mL de la solución (A) y 0.9 mL de Ftalato ácido de potasio y 2.1 mL de agua destilada.
- h) En el tubo 5, colocar 2 mL de solución de digestión (B), 4 mL de la solución (A) y 1.8 mL de Ftalato ácido de potasio y 1.2 mL de agua destilada.
- i) En el tubo 6, colocar 2 mL de solución de digestión (B), 4 mL de la solución (A) y 2.7 mL de Ftalato ácido de potasio y 0.3 mL de agua destilada.
- j) Tapas los tubos fuertemente y homogenizar.
- k) Colocar los tubos en el Thermoreactor MERCK TR 300 a una temperatura de 148°C durante 2 horas Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- l) Invertir las ampollas de muestra, blanco y solución patrón varias veces con el fin de mezclar y dejar que los sólidos se depositen antes de medir la absorbancia.
- m) Remover los sólidos que se adhieran a la pared de la ampolla mediante suaves golpes,

- n) Insertar la ampolla cerrada al adaptador de apertura para acceso de ampollas del Espectrofotómetro ajustado a 600 nm
- o) Realizar la lectura de absorbancia. (Ver anexo N°12)
- p) Realizar la curva de calibración, teniendo en cuenta que El Patrón de Ftalato ácido de potasio con una concentración de 850 mg/L, tiene una DQO conocida de 1000 mg O₂/L.

4.4.5. Determinación de Sólidos totales Sedimentables por el Método Volumétrico. ⁽¹⁾ ⁽¹⁹⁾

Se llevará a cabo la prueba volumétrica utilizando solamente un cono imhoff.

- a) Colocar en el cono 1 L de la muestra bien mezclada.
- b) Dejar sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente los sólidos que se depositen en las paredes del cono con una varilla de vidrio.
- c) Mantener en reposo 15 minutos más.
- d) Anotar el volumen de sólidos sedimentables en el cono graduado (mL/L). (Ver anexo N°13)
- e) En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotantes, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

4.4.6. Sólidos totales Suspendidos. ⁽¹⁾ ⁽¹⁹⁾

Se estimarán por diferencia de sólidos totales y sólidos disueltos.

4.4.7. Sólidos Totales.

- a) Encender la estufa entre 103-105°C.
- b) Lavar una capsula de porcelana e introducirla en la estufa durante 1 hora
- c) Sacar la capsula de porcelana y colocarla en el desecador hasta el momento de su uso.
- d) Pesarla inmediatamente antes de usar y registrar el dato (Peso A).

- e) Mezclar y medir 25 mL de muestra a temperatura ambiente en una probeta.
- f) Colocar el volumen de muestra en una capsula de porcelana de capacidad adecuada.
- g) Colocar la capsula de porcelana en una placa calefactora a 98°C (para evitar llegar a ebullición y las salpicaduras) y evaporar la muestra hasta casi sequedad.
- h) Colocar la muestra evaporada en la estufa entre 103-105°C por una hora.
Nota: El secado puede extenderse hasta el día siguiente según el criterio del analista, cuando el tipo de muestra, haga suponer alto contenido de sales y se considere ausencia de compuestos orgánicos que puedan perderse con un calentamiento prolongado.
- i) Enfriar la capsula de porcelana en el desecador.
- j) Pesar inmediatamente para evitar cambios en el peso por exposición al aire y/o degradación del residuo y registrar los datos. (Ver anexo N°14)
- k) Repetir el calentamiento por 1 hora, hasta que la diferencia con la pesada previa sea < 4% o < 0.5 mg (seleccionar el valor que resulte menor), con lo cual se considera se obtuvo peso constante.
- l) El peso finalmente obtenido será Peso B.

Calculo:

$$mg \text{ Sólidos Totales/L} = \frac{(B - A) \times 1000}{Volumen \text{ de muestra (en mL)}}$$

Dónde:

A: peso de la cápsula de evaporación vacía (en mg)

B: peso de la cápsula de evaporación + residuo seco (en mg)

4.4.8. Sólidos disueltos.

- a) Insertar el filtro en el embudo de porcelana, colocarlo en el kitazato y adaptarlo a la bomba de vacío.

- b) Lavar el filtro con tres volúmenes sucesivos de 20.0 mL de agua bi-destilada.
- c) Lavar los crisoles que serán utilizados.
- d) Secar en estufa a 105°C por una hora.
- e) Colocar en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente.
- f) Pesar en balanza analítica.
- g) Repetir todo el proceso hasta peso constante.
- h) Agitar bien la muestra.
- i) Tomar una alícuota de 25.0 mL de muestra y filtrar con el sistema de filtración (papel filtro en el embudo, colocado en el kitazato y adaptado a la bomba de vacío).
- j) El filtrado se recibe en un crisol previamente tarado.
- k) Evaporar a sequedad.
- l) Someter a 105°C en estufa por 1 hora.
- m) Colocar en desecador hasta alcanzar temperatura ambiente.
- n) Pesar inmediatamente en balanza analítica.
- o) Repetir proceso hasta peso constante. (Ver anexo N°15)

Cálculos.

$$\text{Sólidos totales disueltos} \left(\frac{mg}{L} \right) \frac{A - B}{Vm} \times 1000$$

Dónde: A = (Peso de residuo seco + peso de crisol) expresado en gramos.

B = Peso de crisol vacío (tarado), expresado en gramos.

Vm = Volumen de muestra expresada en litros.

4.4.9. Turbidez (Método Nefelométrico)

- a) Calibrar el Nefelómetro según instrucciones del equipo y ambientar la celda con la muestra.
- b) Colocar 5 mL de muestra en la celda y tapar la celda

- c) Insertar la celda en el instrumento
- d) Presionar el botón de lectura. Leer inmediatamente.
- e) Los resultados se expresan en NTU (Unidades Nefelométrica de Turbiedad). (Ver anexo N°16).

4.4.10. pH (Método Potenciométrico) ⁽¹⁰⁾

- a) Antes de realizar la medición de pH con el potenciómetro UltraBASIC UB-10, realizar una medición con papel indicador de pH para una previa verificación, sumergiendo una tira de papel indicador en 5 mL de muestra.
- b) Calibrar el potenciómetro.
- c) Retirar el electrodo de la solución buffer.
- d) Introducir el electrodo en agua destilada, con el fin de enjuagarlo.
- e) Sumergir el electrodo en la muestra y medir el valor de pH indicando también su temperatura.
- f) Retirarlo de la muestra, enjuagar con agua destilada, secar y luego sumergirlo nuevamente en la solución buffer. (Ver anexo N°17)

Expresión de resultados: Los resultados se deben reportar en unidades de pH con una precisión de 0.1 y la temperatura con una precisión de 1 °C.

4.5. Ensayo de Aptitud.

La muestra estandarizada enviada por el proveedor de ensayo de aptitud (fapas) se analizó con la misma metodología a seguir para las muestras de la Laguna de la Maraly. La muestra para demanda de oxígeno presenta el código FWDE-1EWW1 y los parámetros en los que se participó fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno. (Ver anexo N°18)

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Analizar los parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales Sedimentables, Sólidos Totales Suspendidos, Turbidez, pH.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Para la determinación oxidación biológica de la materia orgánica presente en las muestras de agua de la laguna de la Maraly del municipio de Soyapango, se recolecto una muestra compuesta en los meses comprendidos desde julio a noviembre del 2019.

Para el mes de julio se obtuvo una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 47 mg/L encontrándose dentro del valor máximo permisible (60 mg/L) según el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18 (Ver anexo 1) En el mes de agosto el análisis dio un resultado de 32 mg/L que en comparación al mes de julio hubo una disminución de 15 mg/L por lo tanto el resultado se encuentra dentro del valor máximo permisible del Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18. El muestreo para ambos meses se llevó a cabo en días con presencia de lluvias ocasionales. Para septiembre y noviembre se obtuvo un resultado de 50.2 mg/L aumentando con respecto a los meses anteriores y acercándose al valor máximo permisible establecido por el reglamento, el muestreo para este mes se realizó los días en los que no hubo presencia de lluvia y por ello se observó en aumento en el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno debido a una mayor concentración de materia orgánica la cual fue degradada por los microorganismos presente en el agua residual. En el mes de octubre se obtuvo un valor de 28.3 mg/L. El muestreo fue llevado a cabo en días con abundante presencia de lluvia en comparación con los meses de julio y agosto por lo que el valor disminuyó considerablemente debido a una menor concentración de materia orgánica disponible para ser degradada por los microorganismos.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por mes para la Demanda Bioquímica de Oxígeno:

Tabla N° 1. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días correspondiente al mes de julio

DBO5			
27 de julio			
Mx	Vol. Gastado Inicio (mL)	Vol. Gastado a los 5 días (mL)	DBO 5 (mg/l)
Blanco	9.15	8.0	1.15
100%	0	0	0
50%	4.65	0	0
1%	8.2	3.5	47
Promedio			47

Cálculos:

Formula:

$$DBO_5 = D_1 - D_2 \times FD$$

Dónde:

D_1 = Oxígeno Disuelto en la muestra diluida inmediatamente después de su preparación en mg/L

D_2 = Oxígeno Disuelto en la muestra diluida tras 5 días de incubación a 20°C en mg/L

FD= Factor de Dilución de la muestra

Para Muestra al 10%

$$30 \text{ mL} \rightarrow 300 \text{ mL} \quad FD = 10$$

$$DBO_5 = 8.2 \text{ mg/L} - 3.5 \text{ mg/L} \times 10$$

$$DBO_5 = 47 \text{ mg/L}$$

Tabla N° 2. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días correspondiente al mes de agosto.

DBO5			
26 de agosto			
Mx	Vol. Gastado Inicio (mL)	Vol. Gastado a los 5 días (mL)	DBO 5 (mg/l)
Blanco	3.4	8.2	---
10%	8.0	6.3	17
5%	8.10	5.2	58
3.33%	8.0	7.3	21
Promedio			32

Cálculos: (Ver ejemplo correspondiente al mes de julio)

Tabla N° 3. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días correspondiente al mes de septiembre.

DBO5			
14 de Septiembre			
Mx	Vol. Gastado Inicio (mL)	Vol. Gastado a los 5 días (mL)	DBO 5 (mg/l)
Blanco	8.3	8.3	0
10%	7.1	2.1	50
5%	8.0	5.7	46
3.33%	8.2	6.5	51
1.66 %	8.4	7.5	54
Promedio			50.25

Cálculos: (Ver ejemplo correspondiente al mes de julio)

Tabla N° 4. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 día correspondiente al mes de octubre.

DBO5			
12 de octubre			
Mx	Vol. Gastado Inicio (mL)	Vol. Gastado a los 5 días (mL)	DBO 5 (mg/l)
Blanco	8.4 MI	7.7	0.7
10%	8.2	5	32
5%	8.2	7.2	20
3.33%	8.2	7.1	33
Promedio			28.33

Cálculos: (Ver ejemplo correspondiente al mes de julio).

Tabla N° 5. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días correspondiente al mes de noviembre.

DBO5			
24 de Noviembre			
Mx	Vol. Gastado Inicio (mL)	Vol. Gastado a los 5 días (mL)	DBO 5 (mg/l)
Blanco	8.4	8.4	0
10%	8.2	7.0	72
5%	8.0	6.5	45
3.33%	7.9	5.8	42
1.66%	7.3	3.1	42
Promedio			50.25

Cálculos: (Ver ejemplo correspondiente al mes de julio).

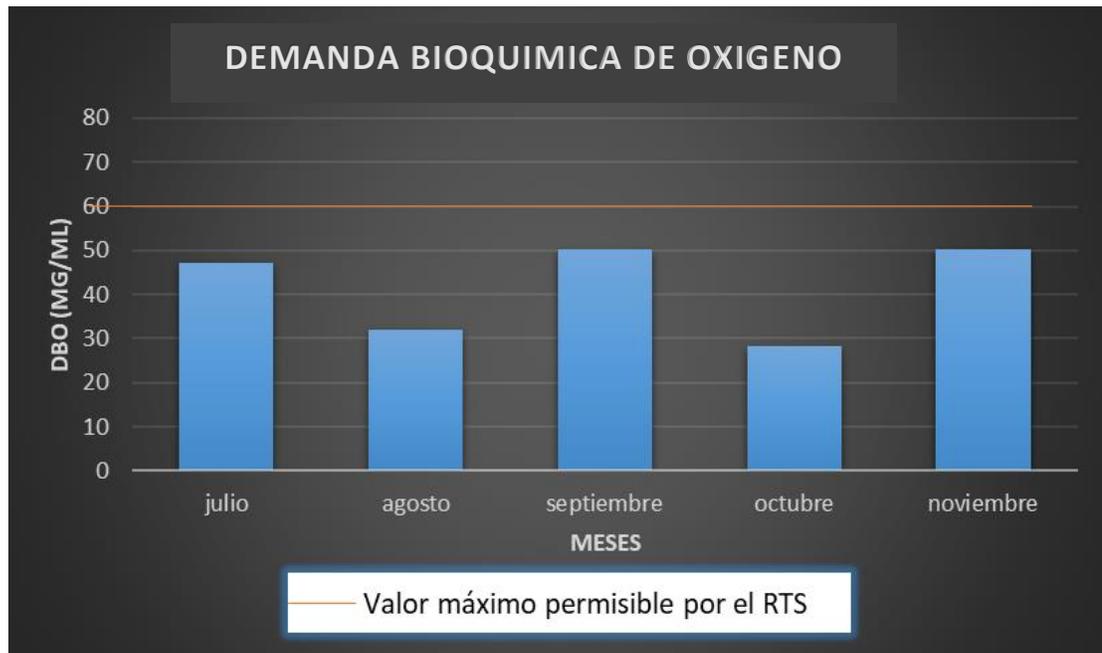


Figura N°1 Resultados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para la determinación de la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica presente en las muestras de agua de la laguna de la Maraly del municipio de Soyapango, se recolecto una muestra compuesta en el periodo comprendido desde julio a noviembre del 2019.

El análisis realizado en el mes de julio dio como resultado un valor de 193.5 ppm, superando el valor máximo permisible (150 ppm) establecido en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18, en el mes de agosto se obtuvo un resultado de 128.5 ppm, disminuyendo significativamente en comparación con el mes anterior, en el mes de septiembre el análisis dio un valor de 178.5 ppm, aumentando significativamente respecto a agosto y disminuyendo en comparación con el valor obtenido en julio, para octubre el valor obtenido del análisis tuvo un ligero aumento a 188.5 ppm respecto al mes de septiembre.

En el mes de noviembre se obtuvo el valor más alto de Demanda Química de Oxígeno de 428.5 ppm a pesar de que en este mes se tuvo la presencia de abundantes lluvias por lo que para este parámetro los valores obtenidos del análisis en comparación con el DBO no presentan una variación de acuerdo al muestreo realizado en los días lluviosos o secos.

Como se refleja en los resultados agosto fue el único mes donde se obtuvo un valor dentro de lo establecido por el RTS 13.05.01:18, se sospecha que esto es debido a un aporte de desechos industriales en la zona, ya que este parámetro determina la degradación de la materia orgánica e inorgánica y como se observa, con respecto a la materia orgánica en DBO no aumenta ni varía considerablemente como es en el caso del DQO, por lo tanto esta materia inorgánica presente en los desechos generados por las industrias que se encuentran en la zona es la responsable de esta variación. Se realizó la lectura por duplicado de los estándares, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 6. Resultados de la lectura de Estándares con sus respectivas

Concentración	Absorbancia	Absorbancia
Blanco	0.02	0.04
166 ppm	0.036	0.034
500 ppm	0.114	0.127
1000 ppm	0.220	0.216

A partir de estos resultados, se elaboró la curva de calibración mediante el método de mínimos cuadrados.

Tabla N° 7. Sumatoria y promedio de los resultados obtenidos de estándares.

N°	Concentración (ppm)	Absorbancia	X	Y	XY
1	Blanco	0.03	---	---	---
2	166	0.035	2755 6	0.001225	5.81
3	500	0.1205	2500 00	0.01452	60.25
4	1000	0.218	1000 000	0.04752	218
Prom.	555.3333333	0.1245	4258 52	0.0210883 3	94.6866667
Suma.	1666	0.3735	1277 556	0.063265	284.06

Cálculos:

Resultados para "m" y "b"

$$S_{xx} = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N}$$

$$S_{xx} = 1277556 - 925185.33$$

$$S_{xx} = 352370.67$$

$$S_{xx} = \frac{1277556 - (1666)^2}{3}$$

$$S_{xy} = \frac{\sum xy - \sum x \sum y}{N}$$

$$m = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

$$m = \frac{76.643}{352370.67}$$

$$m = 0.0$$

$$S_{xy} = 284.06 - \frac{(166)x(0.3735)}{3}$$

$$S_{xy} = 284.06 - 207.417 = 76.64$$

$$y = mx + b$$

$$b = y - mx$$

$$b = y - m x$$

$$b = 0.1245 - 0.0002 \times 555.33$$

$$b = 0.1245 - 0.111066$$

$$b = 0.013$$



Figura N° 2 Curva de Calibración de DQO y ecuación de la recta

Cálculos: A partir de la ecuación de la recta $y = 0.0002 x + 0.0033$ se realizó el cálculo de la Demanda Química de Oxígeno:

Ejemplo: Para el mes de Julio

Absorbancia de la Muestra: 0.042

Sea $y = mx + b$

$x = 0.042 - 0.0033 / 0.0002$

$y = 0.0002 x + 0.0033$

$x = 193.5 \text{ ppm}$

$x = y - b / m$

DQO= 193.5 ppm

Tabla N° 8. Absorbancias de muestras obtenidas por mes

Demanda Química de Oxígeno		
Mes	Absorbancia	DQO (ppm)
Julio	0.042	193.5
Agosto	0.029	128.5
Septiembre	0.039	178.5
Octubre	0.041	188.5
Noviembre	0.086	413.5

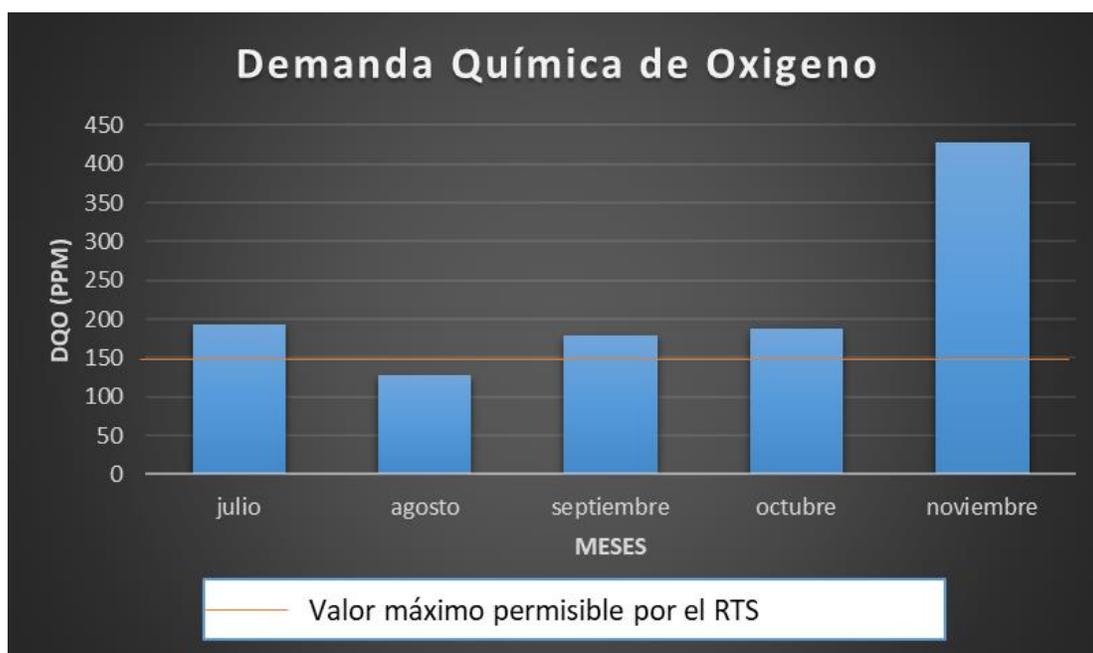


Figura N° 3 Resultados obtenidos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Sólidos Totales Sedimentables.

Para la determinación de los Sólidos Totales Sedimentables en las muestras de agua de la laguna de la Maraly del municipio de Soyapango, se recolectó una muestra compuesta por mes comprendido en el periodo de julio a noviembre del 2019, las cuales fueron analizadas mediante el método gravimétrico utilizándose un cono imhoff.

El análisis realizado para el mes de julio y octubre dio como resultado un valor menor a 0.1 mL/L por lo tanto no sobrepasa el límite establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 que es de 1 mL/L.

Para los meses de agosto y noviembre se obtuvo un resultado de 0.5 mL/L aumentando significativamente con respecto a los meses anteriores, pero no sobrepasa el límite establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 que es de 1 mL/L.

Con respecto al mes de septiembre se obtuvo un valor de 3 mL/L sobrepasando el límite establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 que es de 1 mL/L.

En este caso los valores obtenidos no presentan una variación con respecto al muestreo realizado en los días secos y lluviosos, pero pudo haber influido la basura que los habitantes de la zona desechan en los alrededores de la laguna.

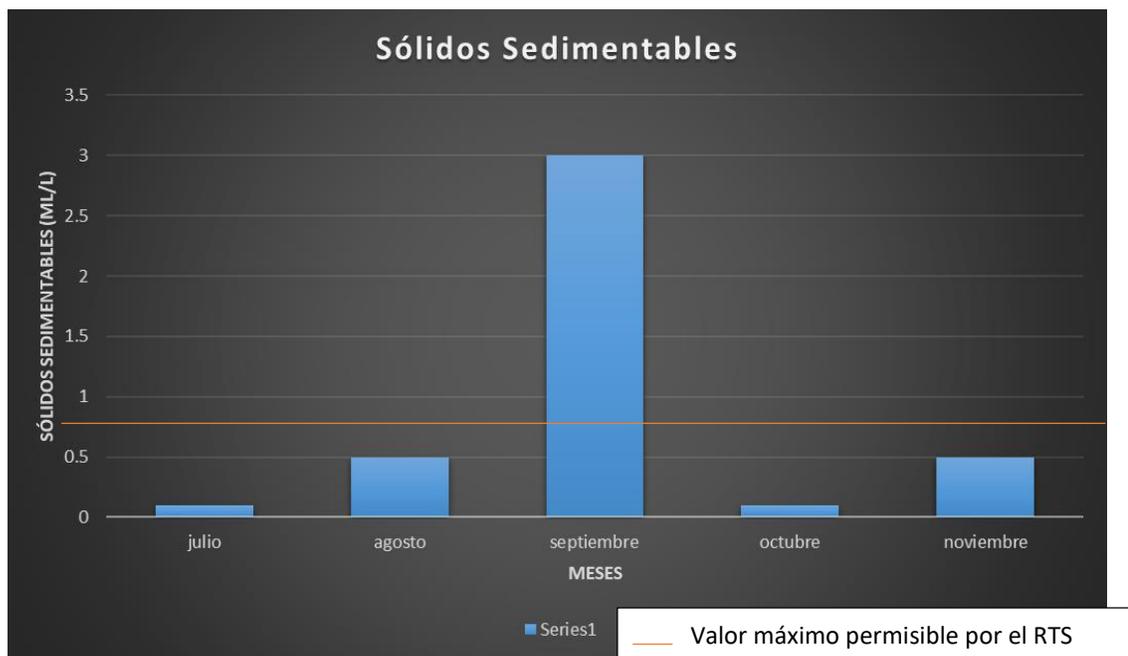


Figura N° 4 Resultados Obtenidos de los Sólidos Sedimentables.

Sólidos Suspendidos.

Para la determinación de los Sólidos suspendidos en las muestras de agua de la laguna de la Maraly del municipio de Soyapango, se recolecto una muestra compuesta por mes comprendido en el periodo de julio a noviembre del 2019. El valor fue determinado mediante diferencia de los Sólidos Totales y Sólidos disueltos.

Ejemplo: Julio

Para los Sólidos Totales:

Peso de Capsula vacía: 80.6437 g

Peso de Capsula vacía + muestra seca: 80.6497 g

$$\text{Solidos Totales} = \frac{\text{Peso de la cap. Vacía} + mx - \text{Peso de capsula vacía}}{\text{Volumen de muestra}} \times 1000$$

$$\text{Solidos Totales } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{80.6497 \text{ g} - 80.6437 \text{ g}}{0.025 \text{ L}} \times 100$$

$$\text{Solidos Totales} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = 240$$

Para Solidos Disueltos:

Peso de Capsula vacía: 75.5171 g

Peso de Capsula vacía + muestra seca filtrada: 75.5212 g

$$\text{Solidos Totales} = \frac{\text{Peso de la cap. Vacía} + mx - \text{Peso de capsula vacía}}{\text{Volumen de muestra}} \times 100$$

$$\text{Solidos Totales} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{75.5212 \text{ g} - 75.5171 \text{ g}}{0.025 \text{ L}} \times 100$$

$$\text{Solidos Totales} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = 164$$

Solidos Suspendidos = Solidos Totales – Solidos Disueltos

Solidos Suspendidos= 240 mg/L – 164 mg/L

Solidos Suspendidos= 76 mg/L

Tabla N°9. Resultados para Sólidos totales, disueltos y suspendidos.

Sólidos Suspendidos			
Mes	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos Disueltos (mg/L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)
Julio	240	164	76
Agosto	184	152	32
Septiembre	484	452	32
Octubre	144	112	32
Noviembre	216	156	60

Para el mes de julio se obtuvo un valor de 76 mg/L sobrepasando el límite establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 que es de 60 mg/L.

Con respecto a los meses de agosto, septiembre y octubre se obtuvo un valor de 32 mg/L encontrándose dentro de los valores permitidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18.

En el mes de noviembre se obtuvo un valor de 60 mg/L, aumentando nuevamente con respecto a los meses de agosto, septiembre y octubre y encontrándose en el valor máximo permisible por el reglamento técnico salvadoreño.

Para este caso al igual que en los sólidos sedimentables los valores obtenidos no presentan una variación con respecto al muestreo realizado en los días secos y lluviosos, pero pudo haber influido la basura que los habitantes de la zona desechan en los alrededores de la laguna.



Figura N° 5 Resultados obtenidos de los Sólidos Suspendidos.

Turbidez.

Para la determinación de la turbidez en las muestras de agua de la laguna de la Maraly del municipio de Soyapango, se recolecto una muestra compuesta en el periodo comprendido desde julio a noviembre del 2019.

Para el mes de julio se obtuvo un valor de 73 NTU, en el mes de agosto el resultado disminuyo a 69 NTU, para septiembre el resultado de la turbidez incremento a 77 NTU respecto a los dos meses anteriores, para octubre se obtuvo el valor de 64 NTU y noviembre dio un resultado de 53 NTU obteniéndose en este mes el valor más bajo respecto a los meses anteriores. En base a los resultados reflejados, la presencia de lluvia no es un factor que afecten los valores de turbidez para el agua residual de la laguna.

Según el RTS 13.05.01.18 el valor de turbiedad solo se reporta y en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 se indica que el valor para este parámetro no debe aumentar en 5 unidades en un cuerpo receptor de agua.

Es importante mencionar que el muestreo de agua se llevó a cabo en las orillas de la laguna la Maraly, debido al difícil ingreso en el área, por lo que no se muestrearon en puntos a diferentes niveles de profundidad de la laguna y por ello no se obtuvo muestras homogéneas.

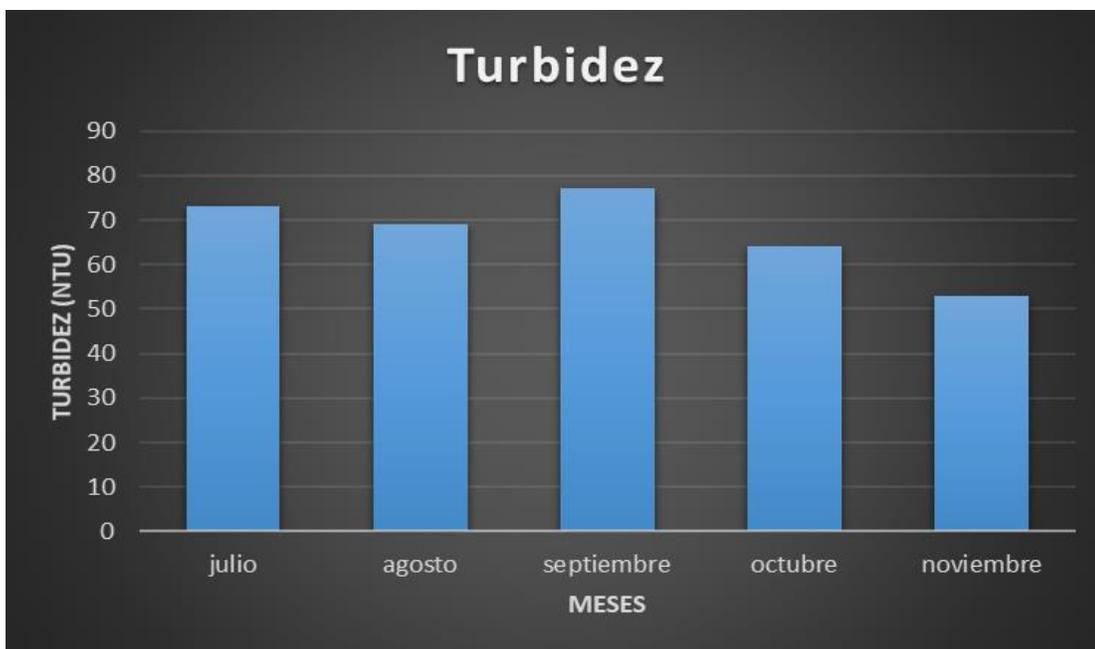


Figura N° 6 Resultados obtenidos de la Turbidez por mes.

5.2. Comparar los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño de “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” RTS 13.05.01:18.

A continuación, se muestra una tabla de comparación de los resultados obtenidos para la muestra de agua residual con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18.

Tabla N° 10. Comparación de resultados con el RTS 13.05.01:18 del análisis del agua residual de la Laguna de la Maraly, en el periodo de julio a noviembre de 2019.

Parámetros	Resultados					RTS 13.05.01: 18
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	
DBO ₅	47 mg/L	32 mg/L	50.2 mg/L	28.3 mg/L	50.2 mg/L	60 mg/L
DQO	193.5 ppm	128.5 ppm	178.5 ppm	188.5 ppm	413.5 ppm	150 mg/L
Sólidos Totales Sedimentables	< a 0.1 mL/L	0.5 mL/L	3 mL/L	< a 0.1 mL/L	0.5 mL/L	1 mg/L
Sólidos Totales Suspendidos	76 mg/L	32 mg/L	32 mg/L	32 mg/L	60 mg/L	60 mg/L
Turbidez	73 UNF	69 UNF	77 UNF	64 UNF	53 UNF	Reportar
Parámetros de Control						
pH	6.75	6.8	6.8	7.0	6.8	-----
Temperatura	-	28°C	25°C	28°C	26°C	-----
RTS "Aguas. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales" 13.05.01:18						

5.6. Participar en un ensayo de aptitud en los parámetros fisicoquímicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para la participación en el ensayo de aptitud se realizó la adquisición de una muestra de agua residual enviada por el proveedor de ensayos de aptitud, Fapas, siendo el laboratorio N° 50 del programa de ensayo de aptitud de enero 2019 - marzo 2020, del grupo 1 de Demanda de Oxígeno para agua residual.

Para llevar a cabo esta prueba de aptitud, la muestra recibida de un volumen de aproximadamente 20 mL se llevó a un volumen de 1 litro y en el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a esta se le hicieron diluciones al 50%, 16.66%, 8.33% y 3.33%.

En el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno dando un resultado de 160.5 mg/L obteniéndose un Z- score de 6.3 y la Demanda Química de Oxígeno se obtuvo un resultado 245 ppm obteniéndose un Z-score de 5.7.

Los resultados de rendimiento no satisfactorios (señal de acción), como es el caso de los resultados obtenidos, indican posibles problemas en los ensayos realizados que podría deberse a las condiciones de envío o almacenamiento de la muestra, que pudieron haber influido en los resultados reportados, ya que la muestra fue procesada inmediatamente a su llegada al laboratorio sin embargo estuvo retenida en la aduana más de dos semanas a la temperatura ambiente.

Tabla N° 11. Resultados y z-Scores para analitos enviados por Fapas.

N° de Laboratorio	Analitos					
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), 5 días Valor asignado 98.7 mg/L		Demanda Química de Oxígeno (DQO) Valor asignado 156 mg/L		Carbono Orgánico Total (TOC) Valor asignado 66.9 mg/L	
	Resultado	z-Score	Resultado	z-Score	Resultado	z-Score
050	160.5	6.3	245	5.7	118.9	7.8
058	86	-1.3	—	—	—	—
059	95.1	-0.4	151	-0.3	56.5	-1.5
060	85	-1.4	154	-0.1	—	—
065	—	—	165.5	0.6	—	—
067	10	-9.0	136	-1.3	163	14.4

Al comparar los resultados obtenidos con otros laboratorios participantes en la

prueba, por ejemplo, en el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno el laboratorio mejor evaluado obtuvo un Z de -0.3 y el que obtuvo un valor de Z menor que el de todos los participantes fue de -9.0, indicando una alta variación de los resultados por lo tanto así como hay muchos laboratorios participantes que obtuvieron Z satisfactorios de igual forma otros laboratorios como en nuestro caso por diversos factores como los mencionados anteriormente no se obtuvieron los z esperados.

Tabla N° 12. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de la muestra utilizada en el Ensayo de Aptitud.

DBO5			
14 de agosto			
Mx	Vol. Gastado Inicio (mL)	Vol. Gastado a los 5 días (mL)	DBO 5 (mg/l)
Blanco	9.25	8.45	0.8
50%	8.7	0.0	0.0
16.66%	8.8	0.0	0.0
8.33%	8.8	0.30	102
3.33%	8.7	1.40	219
		Promedio	160.5

Cálculos: (Ver ejemplo correspondiente al mes de julio para Demanda Bioquímica de Oxígeno).

Demanda Química de Oxígeno.

Cálculos:

Absorbancia de la Muestra: 0.0635

Sea $y = mx + b$

Ecuación de la recta: $y = 0.0002 x + 0.0033$

$x = y - b / m$

$x = 0.0635 - 0.0033 / 0.0002$

$x = 30$

DQO= 301 ppm

- 5.6. Elaborar un informe con los resultados obtenidos del análisis y enviarlo a la Alcaldía Municipal de Soyapango (Ver Anexo N° 23)

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. El grado de contaminación del agua residual que se encuentra en la laguna de la Maraly es considerablemente alto ya que la mayoría de parámetros fisicoquímicos evaluados no cumplen con los valores máximos permisibles para los parámetros de Demanda Bioquímica de oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspensos establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño de “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” RTS 13.05.01:18. en el periodo comprendido de julio a noviembre de 2019 por lo tanto, el agua residual de la laguna no puede ser descargada sin previo tratamiento.
2. El tiempo y estación de año no son factores que influyeron en los resultados de los parámetros evaluados, si no que la composición de las descargas de agua que se realizan en la laguna (descargas domésticas e industriales) y que aumentan y disminuyen según con el aporte de aguas de desechos.
3. La laguna de la Maraly es un foco de contaminación que genera enfermedades virales en la colonia la Maraly, La esperanza, Barrio San Antonio y otras zonas aledañas afectadas, debido a la acumulación de agua y residuos de desechos generados por los habitantes de estas comunidades.
4. Los puntos de muestreo del agua residual son factores críticos para la obtención de una muestra de composición representativa que nos indique el estado de toda la laguna ya que estos influyen en los resultados obtenidos para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos determinados.
5. Según los datos que se obtuvieron del análisis del agua residual existe una variación en los parámetros evaluados en el periodo comprendidos de julio a

noviembre de 2019 a consecuencia del aporte de materia orgánica e inorgánica generado por las descargas domésticas y en menor proporción por los desechos industriales provenientes de los alrededores de la zona.

6. Son factores críticos para el análisis y obtención de resultados satisfactorios las condiciones ambientales, de almacenamiento y transporte de las muestras de agua, cuando no corresponden a la zona climática donde se lleva a cabo el análisis.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. Participar en ensayos de aptitud regionales, a los investigadores interesados para no dañar la integridad de la muestra durante el transporte y almacenamiento, debido a que existen diferencias en cuanto a las condiciones ambientales de cada región, así mismo el tiempo de exposición de la muestra podría contribuir en la obtención de resultados.
2. Tener representación de la Universidad de El Salvador en el Ministerios de Hacienda que gestione los procesos aduanales y exonere los impuestos establecidos cuando las importaciones que ingresan al país sean con fines académicos.
3. Realizar campañas de concientización ambiental de parte de la Alcaldía Municipal de Soyapango en el municipio, para evitar el manejo irresponsable de sus desechos cotidianos, así mismo verificar que se dé el cumplimiento de las regulaciones establecidas para los desechos provenientes de las industrias.
4. Gestionar los recursos y equipamientos necesarios por parte de la Universidad de El Salvador para llevar a cabo muestreos adecuados en el lugar, debido al difícil acceso a la laguna y de esta manera obtener resultados más representativos.
5. Realizar de forma más frecuente la aplicación del rociamiento de la solución de Fendona que ya lleva a cabo la Alcaldía de Soyapango, así mismo realizar campañas de fumigación, para reducir la presencia de insectos que son vectores de las diversas enfermedades que afectan a los habitantes de la zona.

BIBLIOGRAFIA

1. America Public Health Associaton (1992) Método Normalizados para Análisis de Agua Potable y Residuales. 17 Edición. (pp 2-12, 2-83 a 2-87, 5-2 a 5-20)
2. Caballero, P, 1995, Métodos Estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. Traducción de la edición original Standard methods for the examination of water and wastewater.
3. Cabeza, Jacquelin. (2013). Las aguas residuales. Revista Jurídica ambiental, 9-11. Recuperado de www.csj.gob.sv
4. Consejo Nacional de Calidad “Agua. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales”. Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18.
5. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) “Agua, aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor”. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09.
6. Cuellar Carrasco. “Determinación de la calidad del agua residual de la Colonia la Mina Torreón, COAH”. Trabajo de graduación. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. México. Año 2010.
7. EURACHEM, 1998, La Idoneidad de los Métodos Analíticos, una guía de laboratorio para validación de métodos y temas conexos, 1edición en inglés.
8. EURACHEM, 2016 “La adecuación al uso de los métodos analíticos”. Guía de laboratorio para validación de métodos y temas relacionados primera edición española.
9. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (mayo 2019). Aguas Residuales. [on line] Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/wastewater/indexesp.stm>.

para consumo humano en el Caserío El Tamarindo, Cantón Las Delicias, municipio de San Miguel, Año 2012”. Facultad.

10. Hernández, E. (2010). Importancia del agua para los seres vivos. Elementalwatson “la” revista 1-1, pp. 9-15. Recuperado de: www.elementalwatson.com.ar/larevista.html.
11. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM,
12. Manual de uso de Thermoreactor TR 300 Marca MERCK, Disponible en: <https://labomersa.com/producto/spectroquant-termoreactor-tr-320/>
13. Manual de uso de Espectrofotómetro UV-VIS HACH DR 2700, Disponible en: <https://www.hach.com>
14. Manual de uso de Nefelómetro portátil Hanna Instruments, Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/manuales/manual-hi-93703.pdf>
15. Manual de uso del Potenciómetro UltraBASIC modelo UB-10, Disponible en: <http://www.denverinstrument.com/denverusa/media/pdf/Op-Man-UB-Long-RevA.pdf>
16. Melendez Madroñero. “Validación parcial de la metodología demanda química de oxígeno (DQO) a rango bajo en aguas residuales por método colorimétrico, en el Laboratorio de Corponariño”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Química, San Juan de Pasto-Colombia. (2012).
17. Melgar Flores, M y Otros “Estudio preliminar de la calidad de agua de captación superficial Multidisciplinaria Oriental. Universidad de El Salvador. El Salvador. Año 2012.
18. Metcalf y Eddy, Inc. “Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición, volumen 1. (pp.53-103) España, 1995.
19. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. (mayo 2019). Aguas Residuales. [On line]. Disponible en:

20. León León. "Caracterización fisicoquímica, biológica y ecotoxicológica del agua residual de un hospital de la ciudad de Cuenca". Trabajo de graduación. Universidad de Cuenca. Ecuador. Año 2015.
21. Organismo Salvadoreño de Normalización (OSN), "Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud" Norma Técnica Salvadoreña ISO/IEC 17043:2010.
22. Sierra Severiche, C.; Castillo Bertel M y Acevedo Barrios R. (2019, marzo 23). Manual de métodos analíticos para determinación de parámetros fisicoquímicos básicos. [On line]. Disponible en: www.eumed.net
23. Sainz, J., Tecnologías para la Sostenibilidad: Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales., 1a. ed., Madrid-España., Fundación EOI Gregorio del Amo., 2005
24. Sotil Rivera, L y Otros "Determinación de parámetros físicos, Químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del Rio Mazán-Loreto". Trabajo de graduación. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Año 2016.
25. Tchobanoglous G, 1991, Manual de disposición de aguas residuales, origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales, Lima, tomo II.

GLOSARIO.

Aguas pluviales: Aguas provenientes de las lluvias que no es absorbida por el suelo y que escurren de edificios, calles, aceras, patios, etc.⁽³⁾

Biocida: Sustancias químicas, sintéticas, de origen natural o microorganismos que están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de cualquier organismo considerado nocivo para el hombre.⁽³⁾

Coefficiente de extinción molar: Parámetro que define la absorbancia de la luz de una longitud de onda determinada por concentración molar.⁽¹⁸⁾

Colorimetría: Técnica instrumental que tiene por objeto determinar la absorción de luz visible por una muestra, que puede ser una sustancia pura o bien una mezcla o disolución.⁽¹⁶⁾

Depleción de oxígeno: Disminución de la cantidad de oxígeno contenido en el agua.⁽¹⁾

Efluente: La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.⁽¹⁰⁾

Escorrentía: Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.⁽¹⁰⁾

Eutrofización: Cuando el agua se enriquece de oxígeno, provocando un aumento de plantas acuáticas y descensos del nivel de oxígeno disuelto.⁽¹⁰⁾

Fitoplancton: Conjunto de microorganismos vegetales acuáticos autótrofos (fabrican su propio alimento).⁽³⁾

Inoculo: Población adecuada de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable que es agregada a una muestra.⁽¹⁾

Item de ensayo de aptitud: Muestra, producto, artefacto, material de referencia, parte de un equipo, patrón de medida, conjunto de datos u otra información utilizada en un ensayo de aptitud.⁽²¹⁾

Material de siembra: Población adecuada de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable que es agregada a una muestra.⁽¹⁾

Mensurando: Magnitud particular sujeta a medición.⁽²¹⁾

Nefelometría: Procedimiento analítico que se basa en la medición de la luz dispersada en dirección distinta a la luz emitida, generalmente con ángulos que oscilan entre 15 y 90 grados.⁽¹⁴⁾

Obturación: Cubrir o obstruir un orificio, agujero, conducto o poro de filtro u otro conducto adaptado a un cuerpo.⁽¹⁾

Oxidante Fotoquímico: Oxidantes producto de reacciones químicas que ocurren por influencia de energía radiante, ya sea del sol o de otra fuente.⁽¹⁶⁾

Participante: Laboratorio, organización o persona que recibe los ítems de ensayo de aptitud y entrega los resultados para su revisión por el proveedor de ensayos de aptitud.⁽²¹⁾

Potabilización: Proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para transformarla en agua potable y hacerla absolutamente apta para el consumo humano.⁽³⁾

Programa de ensayo de aptitud: Ensayos de aptitud diseñados y operados en una o más rondas para un área específica de ensayo, medida, calibración o inspección.⁽²¹⁾

Reflujo: Es una técnica de laboratorio experimental que se usa para producir el calentamiento de reacciones que tienen lugar a temperaturas más altas que la

temperatura ambiente y en las que es mejor mantener un volumen constante en la reacción.⁽¹⁶⁾

Subcontratista: Organización o persona contratada por el proveedor de ensayos de aptitud para realizar actividades especificadas en la Norma Técnica Salvadoreña NTS/IEC 17043:2010 y que afecta a la calidad de un programa de ensayos de aptitud.⁽²¹⁾

ANEXOS

ANEXO N° 1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN.



Figura N° 7. Mapa satelital Coordenadas 13°42'08.8" N 89°09'08.3"

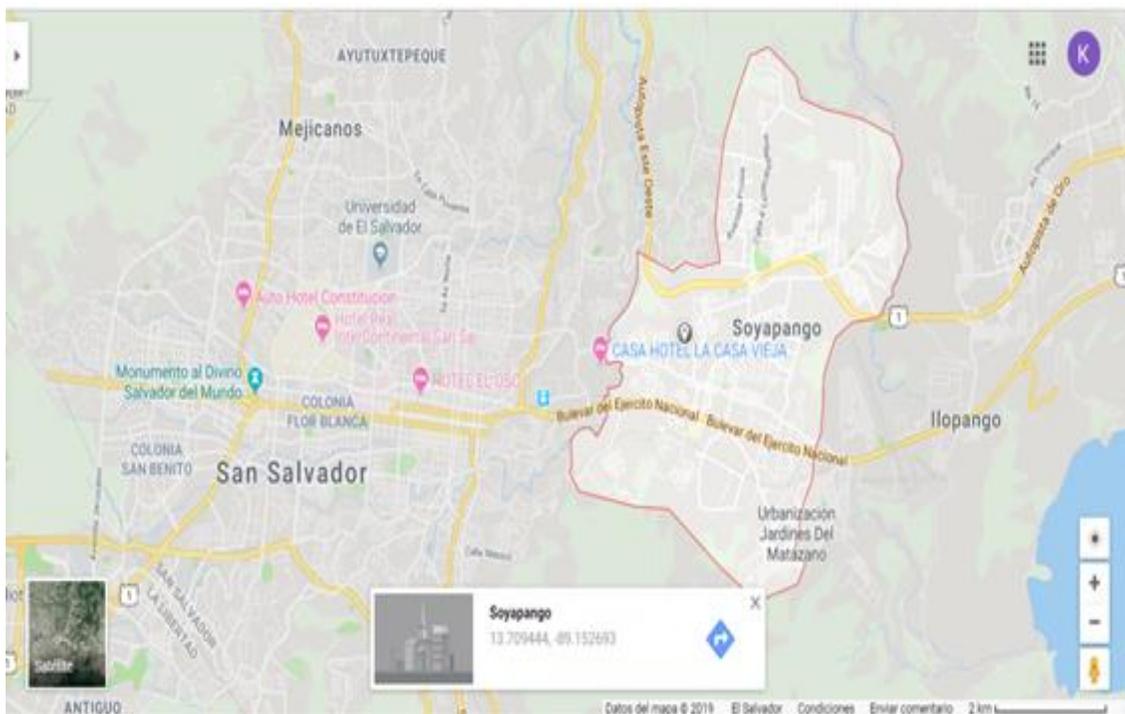


Figura N° 8. Mapa del Municipio de Soyapango

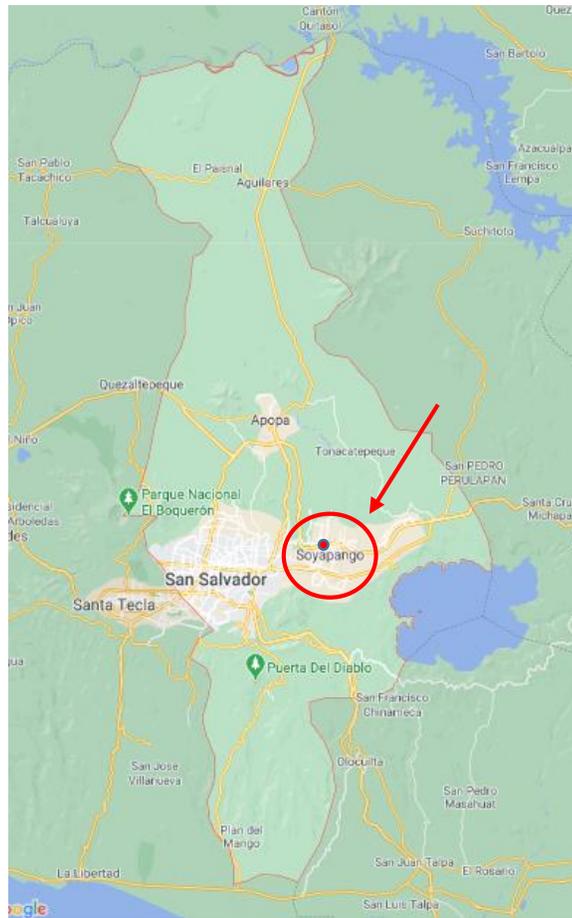


Figura N° 9. Mapa de San Salvador



Figura N° 10. Mapa de El Salvador



Figura N° 11. Mapa Satelital. Ubicación de puntos de muestro.
Coordenadas 13°42'08.8"N 89°09'08.3"W

ANEXO N°2
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA Y QUÍMICA DE
OXÍGENO



Figura N° 12. Valoración con Tiosulfato de Sodio 0.025 N



Figura N° 13. Termoreactor TR 300. (Utilizado para la digestión de muestras)

ANEXO N°3
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)
y SÓLIDOS SEDIMENTABLES (MÉTODO VOLUMÉTRICO)



Figura N° 14. Tara de Capsula de porcelana



Figura N° 15. Cono Imhoff, utilizado para la determinación de Sólidos Sedimentables

ANEXO N°4
DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ Y pH



Figura N° 16. Nefelómetro (Utilizado para determinar La turbidez)

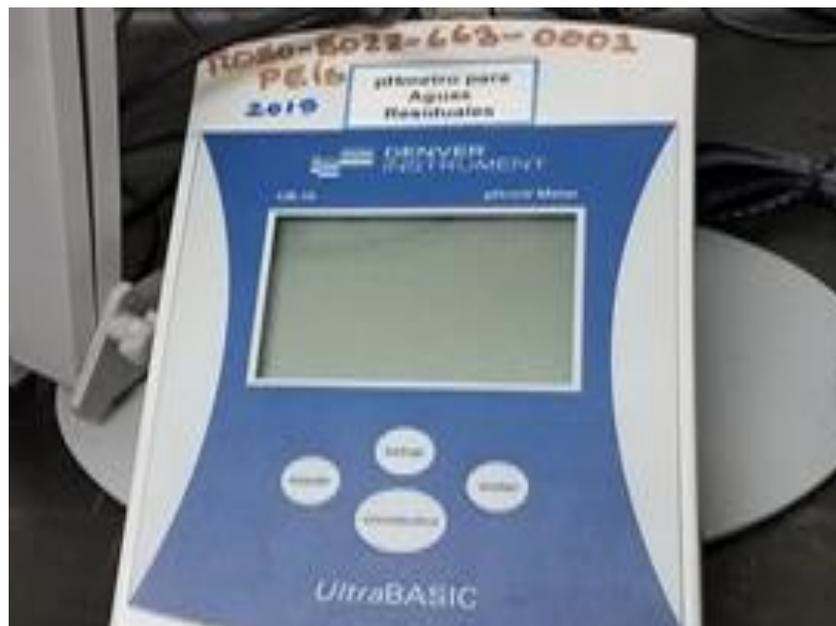


Figura N° 17. Potenciómetro para determinación de pH

ANEXO N° 5.

ESQUEMA DE TOMA DE MUESTRA COMPUESTA.

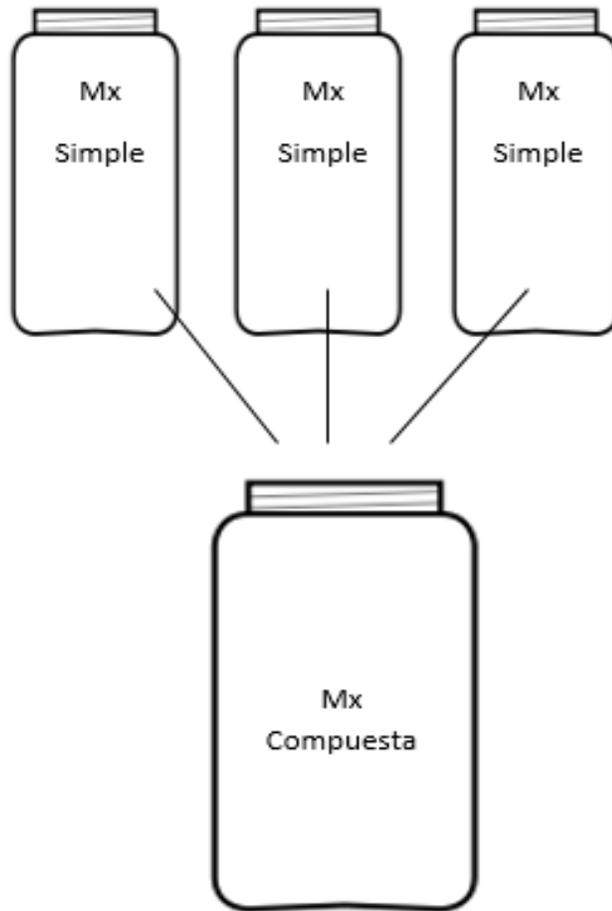


Figura N° 18. Muestra compuesta formada por tres muestras simples

ANEXO N°6

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

A. Determinación de la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

Reactivos

- Solución de tampón fosfato
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico
- Solución de sulfato de magnesio
- Solución de álcali yoduro-azida
- Ácido sulfúrico concentrado
- Tiosulfato de sodio 0.025N
- Solución indicadora de almidón
- Ácido sulfúrico 1N
- Hidróxido de sodio 1N

(Ver en Anexo N° 9 la preparación de reactivos)

Materiales y equipo

- Frascos de incubación con capacidad de 250 a 300 mL
- Estufa de aire con termostato para mantener la temperatura a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$
- Pipetas volumétricas (capacidad según volumen de dilución requerido)
- Probeta de 100 mL
- Perillas
- Agitadores de vidrio
- Vaso de precipitados de 100 mL
- Vaso de precipitados de 250 mL
- Bureta de vidrio de 25 mL
- Soporte de bureta
- Gotero de vidrio
- Agitador magnético

- Descarte.

B. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Reactivos

- Agua destilada
- Solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata (Solución A)
- Sulfato de mercurio
- Solución de Dicromato de Potasio 0.25 N
- Ftalato acido de potasio

(Ver anexo N° 9 la preparación de reactivos).

Materiales y equipos

- 6 Tubos de vidrio de tapón de rosca (16 x 100 mm, 10 mL)
- Vasos de precipitado con capacidad de 1 litro
- Vasos de precipitado con capacidad de 250 MI
- Agitadores de vidrio
- Pipeta graduada de 1 MI
- Pipetas volumétricas de 2 mL, 4 mL y 3 mL.
- Probetas de 100 MI
- Balones volumétricos de 1000 mL, 500 mL y 50 mL.
- Thermoreactor MERCK TR 300
- Espectrofotometro UV-VIS

Determinación de Solidos Sedimentables

Reactivos

- Agua destilada

Materiales y Equipos

- Cono imhoff de 1 L de capacidad
- Base para colocar el cono
- Agitador de vidrio

C. Determinación Sólidos totales.

Reactivos

- Agua destilada.

Materiales y Equipo

- Capsula de porcelana
- Probeta de 25 mL.
- Placa Calefactora
- Pinzas de laboratorio
- Estufa
- Desecador
- Balanza Analítica.

D. Solidos Disueltos.

Reactivos.

- Agua bidestilada.

Materiales y equipos.

- Embudo de porcelana.

- Kitazato.
- Bomba de vacío.
- Filtro Whatman #41.
- Crisol.
- Estufa.
- Desecador.
- Balanza analítica.
- Probeta de 25 mL.
- Placa calefactora.

E. Turbiedad.

Reactivos

- Agua Destilada

Materiales y equipos.

- Nefelómetro

F. pH

Reactivos.

- Agua Destilada.
- Buffer pH 4, 7 y 8.

Materiales y Equipos.

- Vaso de precipitado de 30 mL.
- Papel indicador de pH.
- Potenciómetro UltraBASIC modelo UB-10

ANEXO N°7

**FORMATO DE ETIQUETA PARA LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL
RECOLECTADAS Y ETIQUETADO DE LA MUESTRA PARA EL ANÁLISIS
FISICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL**



Universidad de El Salvador
Facultad de Química y Farmacia



Matriz	
Lugar de muestreo	
Código de la muestra	
Fecha de muestreo	
Hora	
Responsables	
Observaciones	

Figura N° 19. Formato de etiqueta para las muestras recolectadas de agua residual

ANEXO N° 8

**PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA PARA DEMANDA
BIOQUIMICA DE OXIGENO**

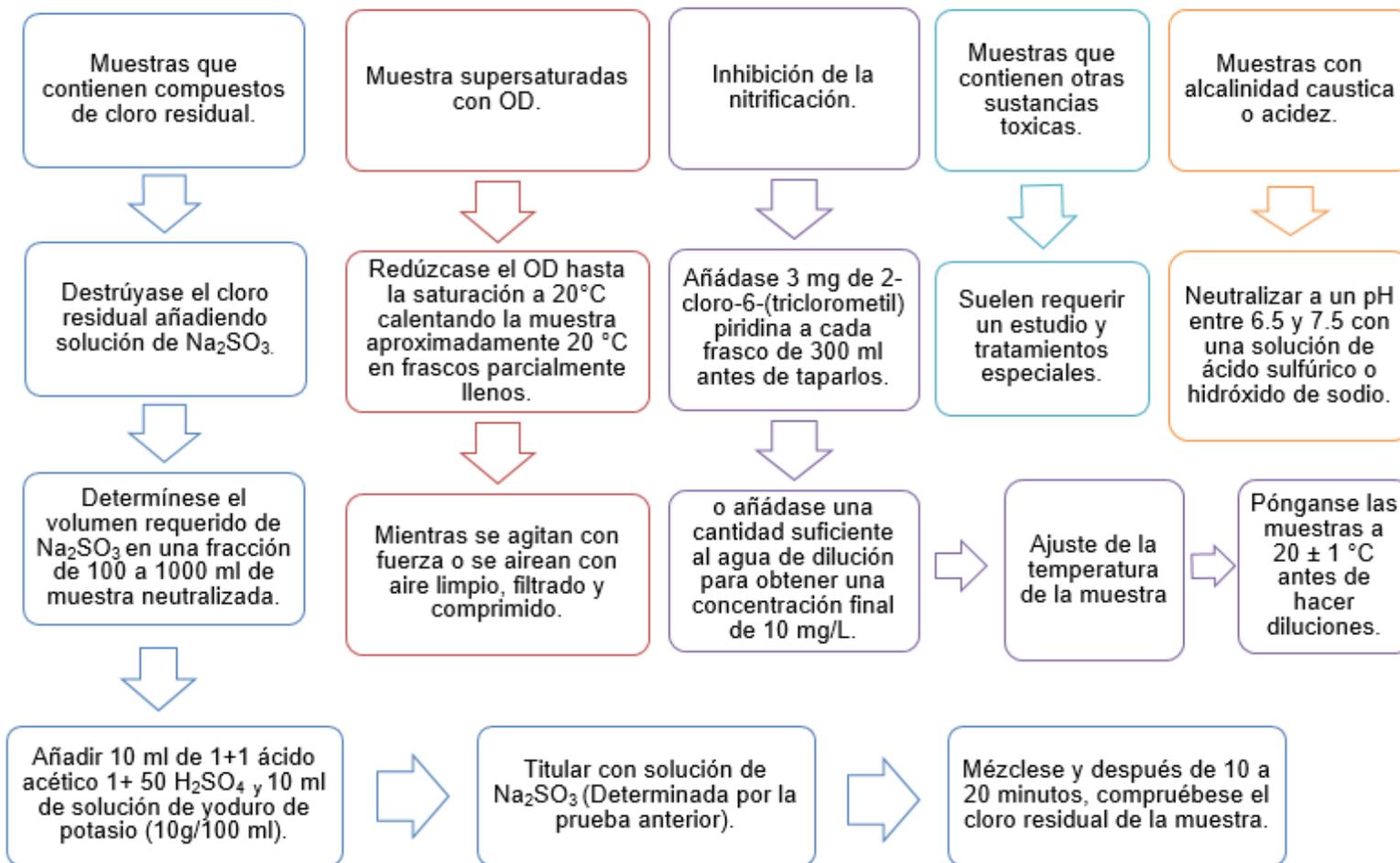


Figura N° 20. Esquema de pretratamiento de la muestra para DBO (1)

ANEXO N° 9
PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA DEMANDA
BIOQUÍMICA DE OXIGENO Y DEMANDA QUÍMICA DE
OXIGENO

A. Agua de dilución.

- a) En un frasco adecuado, colocar el volumen deseado de agua y añadir 1 mL de las soluciones tampón de fosfato, de $MgSO_4$, $CaCl_2$ y de $FeCl_3$ por cada litro de agua.
- b) Añádase suficiente material de siembra como para producir una captación de OD de 0,05 a 0,1 mg/L en 5 días a 20°C.
- c) Incubar en un frasco de DBO por 5 días, manteniendo la temperatura lo más cercana a 20 °C.
- d) Saturar con OD, agitando en una botella parcialmente llena o aireando con aire filtrado libre de materia orgánica.
- e) Antes de utilizarse la temperatura del agua de dilución debe estar a 20 °C.
- f) Alternativamente almacenar en frascos tapados con algodón durante el tiempo suficiente para que el agua se sature de OD. Se debe utilizar agua destilada de la más alta pureza y es necesario proteger su calidad utilizando material de vidrio, tubos y frascos limpios.

B. Solución Tampón de fosfato.

Pesar 8,5g de KH_2PO_4 , 21,75 g de K_2HPO_4 , 33,4g de $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ y 1,7g de NH_4Cl y disolver en unos 500 mL de agua destilada, diluir a 1 litro. El pH de esta solución amortiguadora debe ser de 7.2 sin ajustes adicionales. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

C. Solución de Cloruro de Calcio.

Pesar 27,5 g de $CaCl_2$ y disolver en agua destilada luego diluir hasta 1 litro. Envasar en un frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

D. Solución de Cloruro Férrico.

Pesar 0,25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y disolver en agua destilada, diluir hasta 1 litro. Envasar en un frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

E. Solución de Sulfato de magnesio.

Pesar 22,5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y disolver en agua destilada y diluir hasta 1 litro. Envasar en un frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

F. Solución de álcali yoduro-azida.

Pesar 500 g de NaOH o 700 g KOH y 150 g de KI y disolver en agua destilada, diluir a un litro, agregar 10 g de NaN_3 previamente pesado y disuelto en 40 mL de agua destilada. Este reactivo no debe dar color con la solución de almidón cuando se diluya y acidifique. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

G. Tiosulfato de sodio 0.025 N.

Pesar 6.205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y disolver en agua destilada. Añadir 1.5 mL de NaOH 6N O 0.4 g de NaOH sólido previamente pesado y diluir a 1 litro, luego estandarizar con Solución Patrón de Biyodato Potásico, 0.0021N. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

H. Estandarización de Tiosulfato de Sodio 0.025 N.

- a) En un Erlenmeyer de 250 mL, disolver aproximadamente 2 gramos de KI previamente pesado, con 100 o 150 mL de agua destilada.
- b) Añadir 1 mL de Ácido sulfúrico 6 N o unas pocas gotas de ácido sulfúrico concentrado y 20 mL de bioyadato de potasio 0.0021 M
- c) Diluir con agua hasta 200 mL y valorar el yodo liberado con la solución tiosulfato de sodio 0.025 N, hasta la aparición de un color amarillo pálido.
- d) Agregar el almidón cerca del punto final de la titulación
- e) Continuar la titulación hasta la desaparición del color azul
- f) Anotar el volumen gastado de tiosulfato de sodio.

I. Solución Patrón de Biyodato Potásico, 0.0021N.

Pesar 812.4mg de $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ y disolver en agua destilada, diluir a 1 Litro. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

J. Solución indicadora de almidón.

Pesar 2 g de almidón soluble y 0.2 g de ácido salicílico, luego diluir en 100mL de agua destilada caliente, dejar en reposo por una noche y utilizar el sobre nadante. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

K. Ácido sulfúrico 1N.

Medir con una probeta 28 mL de ácido sulfúrico concentrado. Lentamente y mientras se agita, añádanse los 28 mL de ácido sulfúrico concentrado a agua destilada, Diluir hasta 1 litro. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

L. Hidróxido de sodio 1 N.

Pesar 40 g de Hidróxido de Sodio y diluir en agua destilada. Diluir hasta 1 Litro. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

M. Solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata (Solución A).

Pesar 6.6 g de Sulfato de plata y disolver en 1 Litro de ácido sulfúrico. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

N. Solución de Digestión (B).

Pesar 4 g de sulfato de mercurio y disolver en 100 mL de una disolución Dicromato de Potasio 0.25N y agregarle 35 mL de la solución A. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

O. Solución de Dicromato de Potasio al 2.5 N.

Pesar 61.28 g de Dicromato de Potasio y disolver en 500 mL de agua destilada. Agitar hasta disolver completamente. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

P. Ftalato acido de potasio.

Pesar 8.503 g de Ftalato acido de potasio y disolver en 500 mL de agua destilada, llevar a volumen con agua destilada hasta 1000 mL en un matraz aforado. Envasar en frasco de capacidad adecuada y etiquetar.

ANEXO N°10

CONTROL DEL AGUA DE DILUCIÓN Y BLANCO. ⁽¹⁾

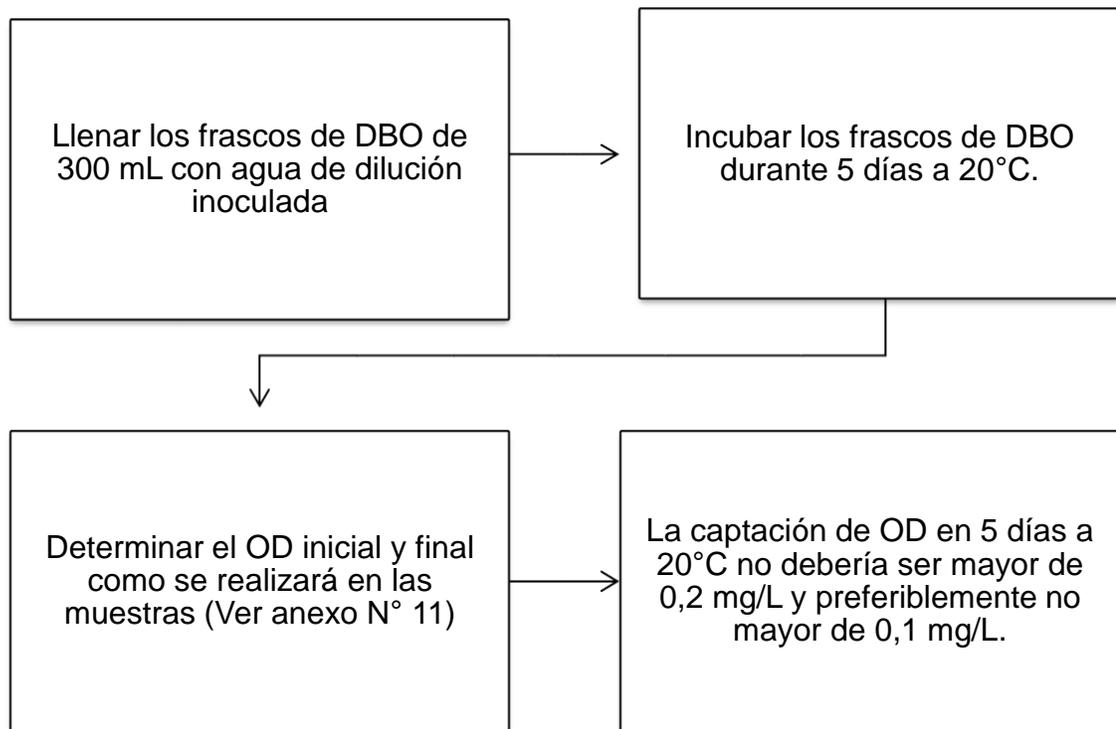


Figura N°. 21 Esquema del control del agua de dilución y blanco ⁽¹⁾

ANEXO N°11

**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DEMANDA
BIOQUIMICA DE OXIGENO.**



Figura N°. 22 Esquema del procedimiento experimental para la demanda Bioquímica de Oxígeno.

ANEXO N°12

**ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA DEMANDA
QUÍMICA DE OXIGENO**

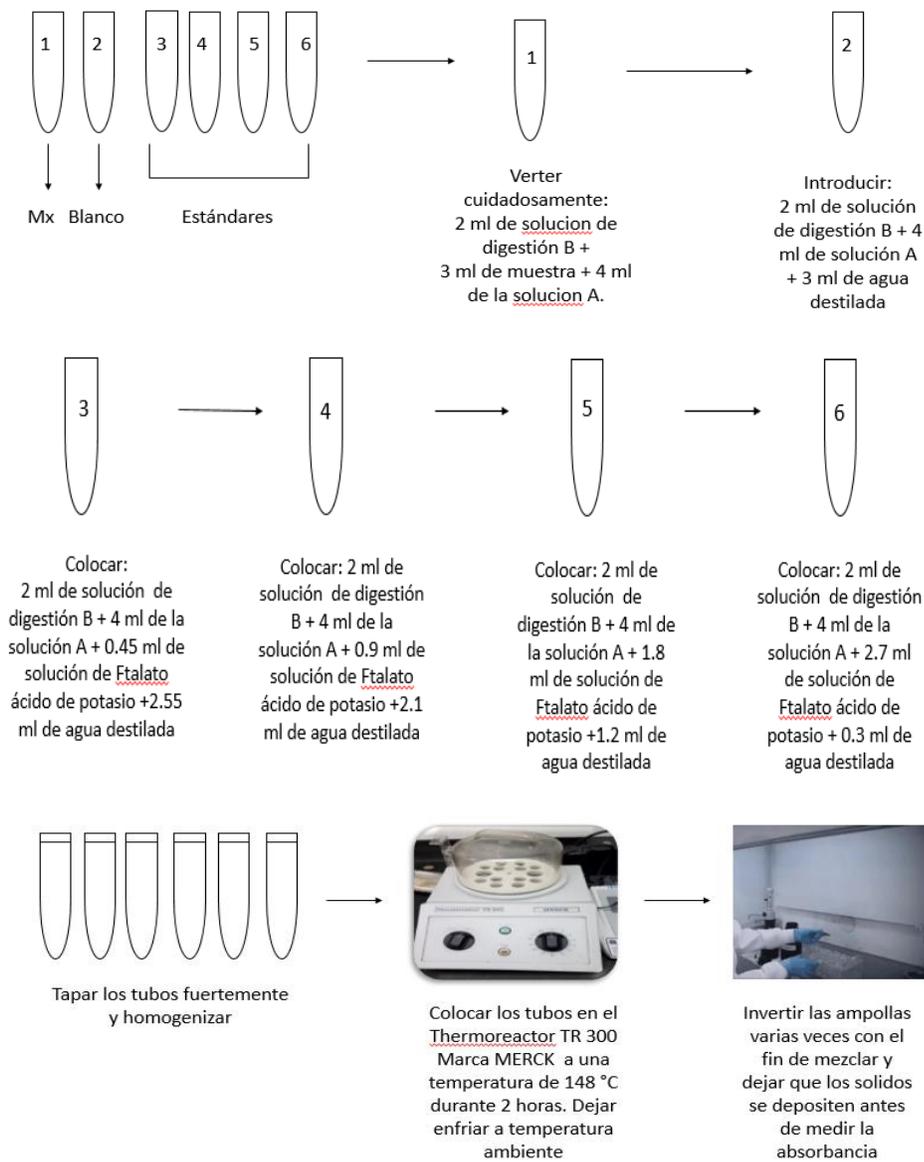


Figura N° 23. Esquema del procedimiento experimental para la demanda Química de Oxígeno.

ANEXO N°13
ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA SÓLIDOS
SEDIMENTABLES.



Figura N° 24. Esquema del procedimiento experimental para Sólidos Sedimentables.

ANEXO N° 14

**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA SÓLIDOS
TOTALES**



Figura N° 25. Esquema del procedimiento experimental para Sólidos totales.

ANEXO N° 15

**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA SÓLIDOS
DISUELTOS**

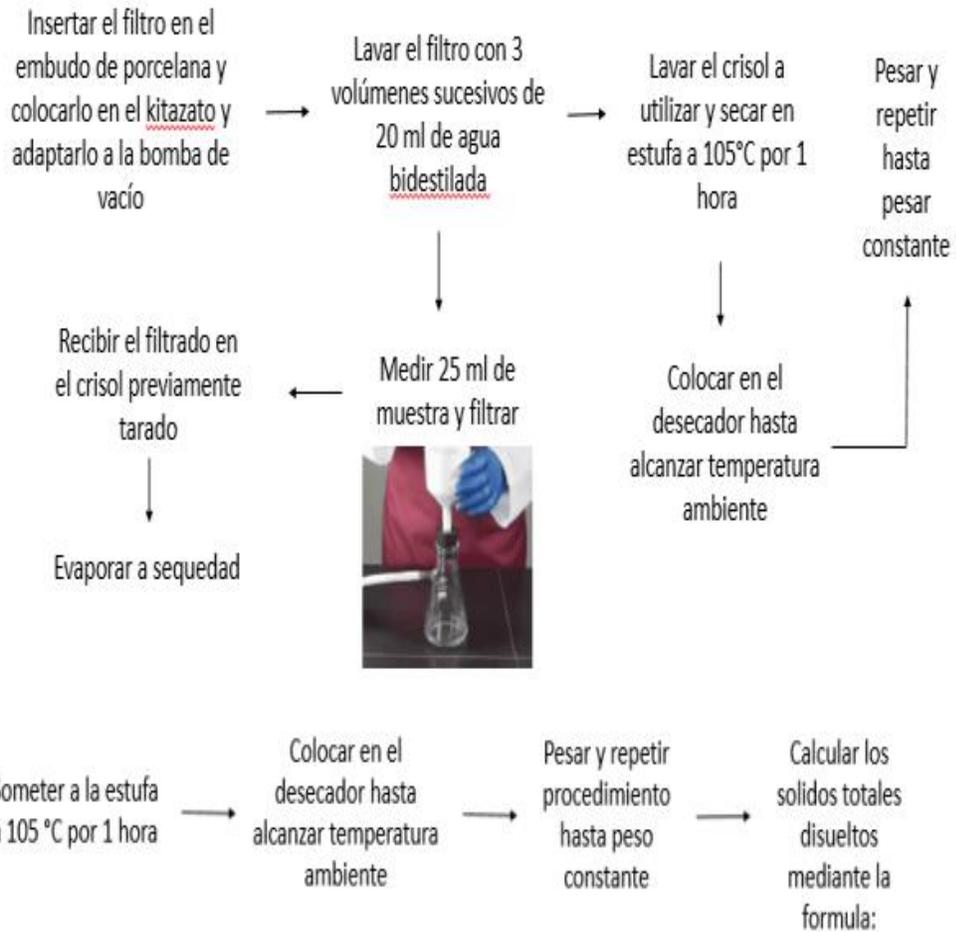


Figura N° 26. Esquema del procedimiento experimental para Sólidos disueltos

ANEXO N°16

**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE LA
TURBIDEZ**

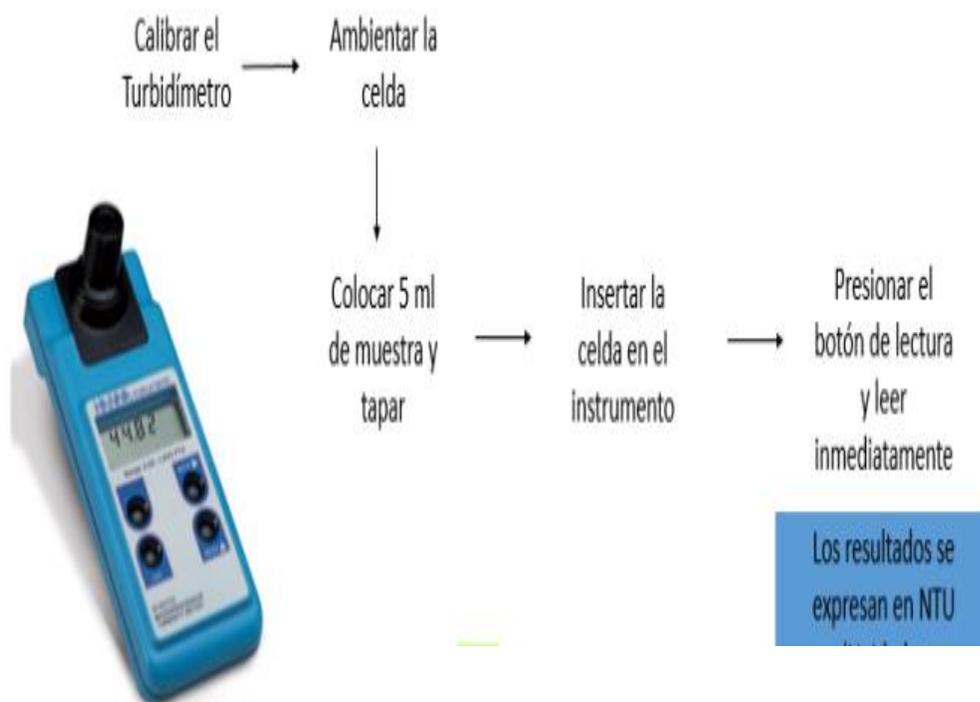


Figura N° 27. Esquema del procedimiento para determinación de la Turbidez

ANEXO N°17

**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA
DETERMINACIÓN DE PH**



Figura N° 28. Esquema del procedimiento para determinación de pH

ANEXO N°18

MUESTRA DE AGUA RESIDUAL ENVIADA POR EL PROVEEDOR FAPAS



Figura N° 29. Muestra de agua residual enviada por el proveedor Fapas

ANEXO N° 19

MUESTREO EN LA LAGUNA DE LA MARALY



Figura N° 30. Muestreo del agua residual mes de Julio - Agosto



Figura N° 31. Muestreo del agua residual mes de Septiembre – Octubre.

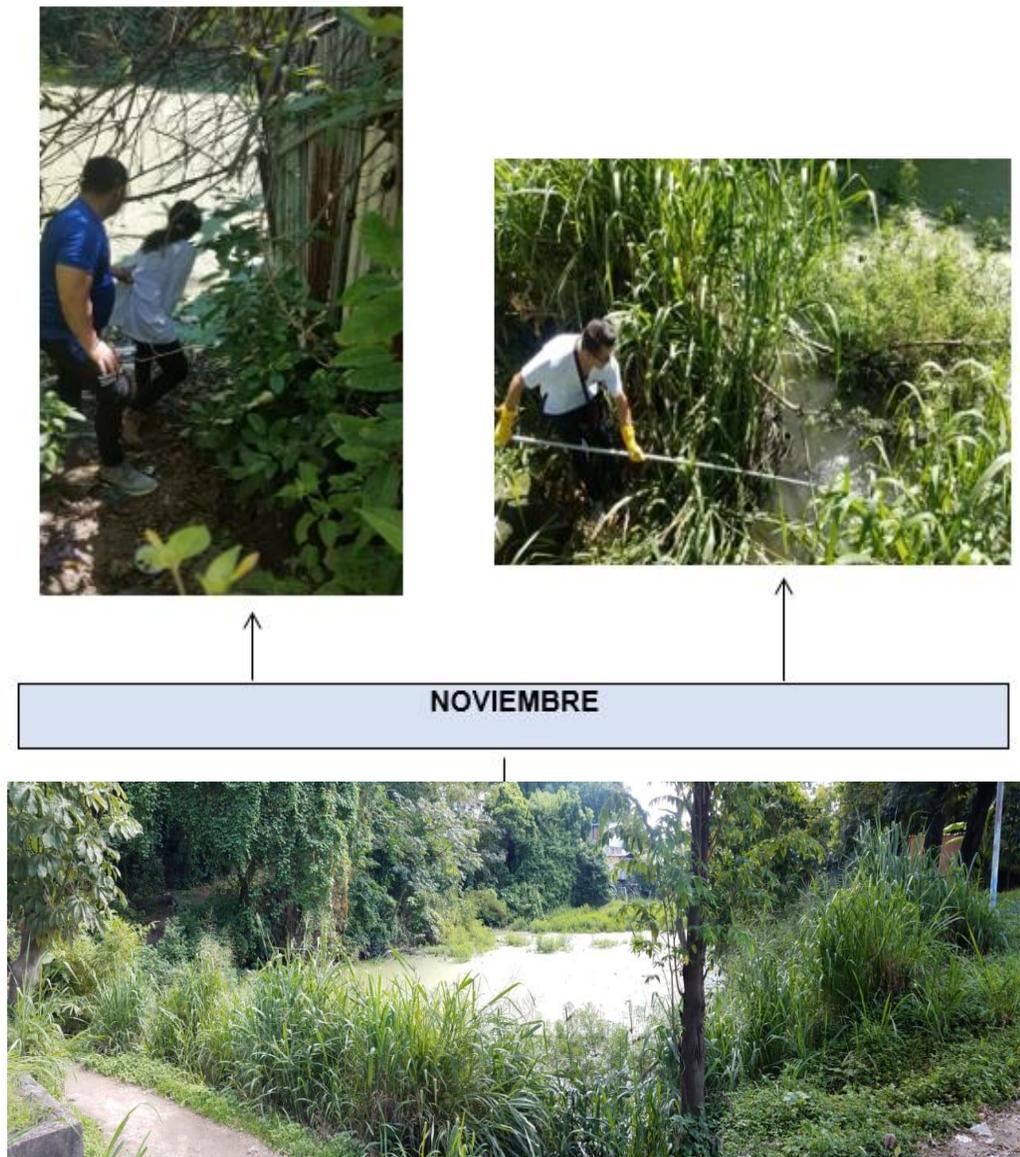


Figura N° 32. Muestreo del agua residual mes de noviembre

Como se observa en el muestro para los diferentes meses, las condiciones de la laguna y el difícil acceso a ella fueron puntos desfavorables para un muestreo totalmente homogéneo de los diferentes puntos propuestos, debido a el terreno en el que se encuentra. Sin embargo, a pesar del riesgo que representaba se logró tomar muestra en ciertos puntos donde era más factible el acceso.

ANEXO N° 20

**INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS DE LAGUNA
DE LA MARALY**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



“EVALUACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA
RESIDUAL DE LA LAGUNA DE LA MARALY DEL MUNICIPIO DE
SOYAPANGO”

INFORME DE ANALISIS

Matriz: Agua Residual		Procedencia: Laguna de la Maraly, Soyapango				
Fecha de inicio de análisis: Julio de 2019						
Fecha de finalización de análisis: Noviembre de 2019						
Institución solicitante: Alcaldía Municipal de Soyapango						
Parámetros	Resultados					RTS 13.05. 01:18
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	47	32	50.2	28.3	50.2	60 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (ppm)	193.5	128.5	178.5	188.5	413.5	150 mg/L
Solidos Totales Sedimentables (mL/L)	<0.1	0.5	3	<0.1	0.5	1 mg/L
Solidos Totales Suspendidos (mg/L)	76	32	32	32	60	60 mg/L
Turbiedad (NTU)	73	69	77	64	53	Report ar
Parámetros de Control						
pH	6.75	6.80	6.80	7.00	6.80	-----
Temperatura (°C)	28	25	28	28	26	-----
RTS “Aguas. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” 13.05.01:18						

Tabla N° 13 Informe de resultados de los análisis de Laguna de la Maraly

Dictamen: En base a los resultados obtenidos de los análisis realizados en el periodo comprendido de julio a noviembre de 2019, siendo estos comparados con el Reglamento Técnico Salvadoreño “Aguas. Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales” 13.05.01:18, se concluye que el grado de contaminación del agua de la laguna de la Maraly es considerablemente alto, ya que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados sobrepasan los valores máximos permisibles por el reglamento, por lo tanto, el agua residual de la laguna no puede ser descargada en un cuerpo receptor sin previo tratamiento.

Analistas: Karen Yamileth Chávez Quintanilla
Yolanda Patricia García Ayala

San Salvador, San Salvador, agosto de 2021