



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Selvyin Aldair Solórzano Flores

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SELVYIN ALDAIR SOLÓRZANO FLORES

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba |
| VOCAL V | Br. Henry Fernando Duarte García |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Angel Roberto Sic García |
| EXAMINADOR | Ing. César Ariel Villela Rodas |
| EXAMINADOR | Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Herbert de León Morales |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de noviembre de 2014.



Selvyin Aldair Solórzano Flores

Guatemala 4 de septiembre de 2015

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdés:
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería USAC

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación **“Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz”**. Elaborado por el estudiante de Ingeniería Química, **Selvyin Aldair Solórzano Flores**, identificado con el número de carné **2011-14283**, y considero que cumple los requisitos establecidos por la escuela. Por lo tanto apruebo para que pueda ser presentado.

Agradezco de antemano su colaboración.



Atentamente,

Ingeniero Jorge Mario Estrada Asturias



Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico Col. 685
Profesor Titular
Escuela de Ing. Química USAC

Colegiado 685

Asesor de Tesis



Guatemala, 06 de octubre de 2015.
 Ref. EIQ.TG-IF.069.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 095-2014 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Selvyin Aldair Solórzano Flores**.
 Identificado con número de carné: **2011-14283**.
 Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


 Inga. Cynthia Patricia Ortiz Quiroa
 COORDINADORA DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.154.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **SELVYIN ALDAIR SOLÓRZANO FLORES** titulado: "**DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

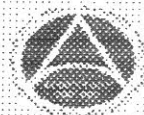
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Otto Raúl de León de Paz
Director a.i.
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale

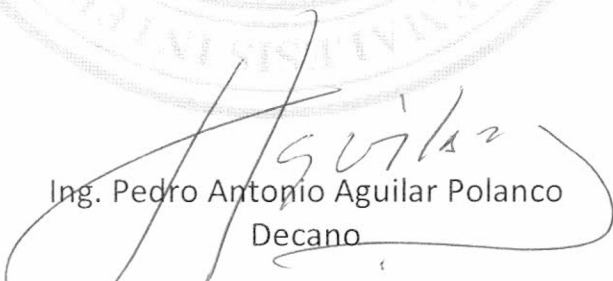




DTG. 576.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ**, presentado por el estudiante universitario: **Selvyin Aldair Solórzano Flores**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser una guía en esta etapa de transformación espiritual y académica.
- Mi papá** René Antonio Solórzano Hernández (q. e. p. d.). Por ser un ángel de luz, fortaleza y sabiduría que no me ha abandonado.
- Mi mamá** Victoria Raquel Flores Albures, por ser una madre amorosa, comprensiva, trabajadora, ejemplo e inspiración para alcanzar todas mis metas.
- Mi tía** Violeta Flores, por ser una segunda mamá, llena de amor, paciencia y sabiduría.
- Mi prometida** Pamela Yajaira Alvarez Guzmán, por ser una mujer amorosa, comprensiva y fuente de inspiración en este camino.
- Mis mejores amigos** Ángel Alvarez, Ricardo Escobar, Rodrigo Guerra, Carlos Velásquez y Jackeline Escobar, por ser personas incondicionales con las que siempre conté en este camino.

**Mis amigos de la
Facultad**

Pablo Méndez, Gabriel Solórzano, Carolina Herrera, Mariela Samayoa, Danilo Ajcip, Edy Payes, Karen Gatica, Pedro García, Luis Sierra y Juan Francisco Chajón, por ser una compañía fundamental en la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| Dios | Por darme la vida, la salud y la sabiduría para alcanzar este sueño que me propuse de niño. |
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser la casa de estudios que me formó y me enorgullece día a día. |
| Mi mamá | Victoria Raquel Flores Albuces, por dejarme ser libre y apoyarme en todo, brindándome su amor incondicional. |
| Mi prometida | Pamela Yajaira Alvarez Guzmán, por ayudarme a ser una mejor persona, logrando sacar mis mejores cualidades. Por apoyarme y amarme incondicionalmente. |
| Ing. Jorge Mario Estrada | Por ser un catedrático ejemplar, que me brindó su apoyo y compartió su conocimiento conmigo. |
| Departamento de Matemática y Química General | Por brindarme una oportunidad de trabajo en algo que me gusta hacer: poner al servicio de los demás mi conocimiento en materias que me gustan. |

Mis mentores

Mi maestra de química en el Liceo Javier: Eugenia Gálvez porque gracias a su enseñanza decidí mi vocación como ingeniero químico. Lic. Oswaldo Martínez y Manuel Rodas, por sus conocimientos transmitidos para prepararme en las olimpiadas internacionales de química.

Mi familia

Mi abuela Julia Flores, mis tios y primos, por su apoyo y atención conmigo siempre.

Mis suegros

Ángel Alvarez y Martiza Guzmán, por acogerme como parte de su familia, brindándome su amor y apoyo.

Mis mejores amigos

Ángel Alvarez, Ricardo Escobar, Rodrigo Guerra, Carlos Velásquez y Jackeline Escobar, por apoyarme y animarme siempre, estando en los momentos más importantes conmigo.

Mis amigos de la facultad

Pablo Méndez, Gabriel Solórzano, Carolina Herrera, Mariela Samayoa, Danilo Ajcip, Edy Payes, Karen Gatica, Pedro García, Luis Sierra, Juan Francisco Chajón, Pablo Obregón y Emilia Pontacq, por todos los momentos vividos en las clases, los exámenes, los congresos, el trabajo y las fiestas. Por esos recuerdos memorables que marcaron nuestras vidas.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN..... | XVII |
| | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| | |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. Descripción de los servicios ofrecidos en el taller mecánico automotriz..... | 3 |
| 2.2. Aguas residuales | 3 |
| 2.2.1. Características de las aguas residuales | 4 |
| 2.2.1.1. Características físicas..... | 4 |
| 2.2.1.1.1. Turbiedad | 4 |
| 2.2.1.1.2. Color..... | 5 |
| 2.2.1.1.3. Olor y sabor..... | 5 |
| 2.2.1.1.4. Temperatura..... | 6 |
| 2.2.1.1.5. Sólidos..... | 6 |
| 2.2.1.2. Características químicas | 8 |
| 2.2.1.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)..... | 8 |
| 2.2.1.2.2. Conductividad..... | 9 |
| 2.2.1.2.3. Acidez..... | 9 |

| | | | |
|------|-------------|--|----|
| | 2.2.1.2.4. | Alcalinidad..... | 9 |
| | 2.2.1.2.5. | Dureza..... | 10 |
| | 2.2.1.2.6. | Grasas..... | 11 |
| | 2.2.1.2.7. | Detergentes..... | 11 |
| | 2.2.1.2.8. | Hierro y manganeso | 11 |
| | 2.2.1.2.9. | Nitrógeno..... | 12 |
| | 2.2.1.2.10. | Fósforo..... | 13 |
| | 2.2.1.2.11. | Demanda Biológica de Oxígeno..... | 14 |
| | 2.2.1.2.12. | Demanda Química de Oxígeno..... | 14 |
| | 2.2.1.3. | Características microbiológicas..... | 15 |
| 2.3. | | Tratamiento de aguas residuales | 16 |
| | 2.3.1. | Procesos de tratamientos de aguas residuales..... | 17 |
| | 2.3.1.1. | Procesos físicos | 17 |
| | 2.3.1.2. | Procesos químicos | 17 |
| | 2.3.1.3. | Procesos biológicos | 18 |
| | 2.3.2. | Tipos de tratamientos de aguas residuales | 18 |
| | 2.3.2.1. | Tratamientos preliminares | 19 |
| | 2.3.2.2. | Tratamiento primario | 20 |
| | 2.3.2.3. | Tratamiento secundario..... | 21 |
| | 2.3.2.4. | Tratamiento terciario | 22 |
| | 2.3.2.5. | Disposición de lodos | 22 |
| | 2.3.3. | Bases legales para el manejo de residuos | 22 |
| | 2.3.3.1. | <i>Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006).....</i> | 23 |

| | | | |
|----|---------------------------|---|----|
| | 2.3.3.1.1. | Objetivo del reglamento..... | 23 |
| | 2.3.3.1.2. | Aplicación del reglamento..... | 24 |
| | 2.3.3.1.3. | Caracterización..... | 24 |
| | 2.3.3.1.4. | Parámetros de medición | 25 |
| | 2.3.3.1.5. | Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO..... | 25 |
| | 2.3.3.1.6. | Determinación de la demanda química de oxígeno..... | 26 |
| | 2.3.3.1.7. | Meta de cumplimiento .. | 27 |
| | 2.3.3.1.8. | Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público | 27 |
| 3. | DISEÑO METODOLÓGICO | | 29 |
| | 3.1. | Variables..... | 29 |
| | 3.2. | Delimitación del campo de estudio | 30 |
| | 3.3. | Recursos humanos disponibles..... | 31 |
| | 3.4. | Recursos materiales disponibles | 32 |
| | 3.5. | Técnica cualitativa o cuantitativa | 32 |
| | 3.6. | Recolección y ordenamiento de la información | 32 |
| | 3.7. | Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información | 33 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.8. | Análisis estadístico..... | 33 |
| 3.8.1. | Diseño experimental..... | 33 |
| 3.8.2. | Medidas de tendencia central..... | 34 |
| 3.8.2.1. | Media aritmética..... | 35 |
| 3.8.3. | Medidas de dispersión | 35 |
| 3.8.3.1. | Varianza | 35 |
| 3.8.3.2. | Desviación estándar | 36 |
| 3.9. | Plan de análisis de los resultados | 36 |
| 3.9.1. | Programas a utilizar en el análisis de los datos..... | 36 |
| 4. | RESULTADOS..... | 37 |
| 5. | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 45 |
| | CONCLUSIONES..... | 51 |
| | RECOMENDACIONES | 53 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 55 |
| | APÉNDICES..... | 57 |
| | ANEXOS..... | 85 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Diferentes formas de sólidos presentes en el agua | 7 |
| 2. | Resultados de análisis de color en función de la fecha de toma de muestra | 39 |
| 3. | Resultados de análisis de sólidos suspendidos en función de la fecha de toma de muestra..... | 39 |
| 4. | Resultados de análisis de DBO en función de la fecha de toma de muestra | 40 |
| 5. | Resultados de análisis de DQO en función de la fecha de toma de muestra | 40 |
| 6. | Relación de DQO/DBO en función de la fecha de toma de muestra.... | 41 |
| 7. | Resultados de análisis de fosfatos en función de la fecha de toma de muestra | 41 |
| 8. | Resultados de análisis de nitratos en función de la fecha de toma de muestra | 42 |
| 9. | Resultados de análisis de pH en función de la fecha de toma de muestra | 42 |
| 10. | Resultados de análisis de coliformes fecales en función de la fecha de toma de muestra | 43 |
| 11. | Tren de tratamiento propuesto para el tratamiento de las aguas residuales del taller mecánico automotriz | 43 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO..... | 26 |
| II. | Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público | 28 |
| III. | Variables presentes en la caracterización de las aguas residuales finales | 30 |
| IV. | Comparación de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las muestras tomadas con los límites máximos permitidos del Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006 | 37 |
| V. | Promedio y desviación estándar de análisis de muestras | 38 |
| VI. | Caudal y cargas de DBO | 38 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|---|------------------------------|
| HCl | Ácido clorhídrico |
| H ₂ S | Ácido sulfhídrico |
| H ₃ PO ₄ | Ácido tetraoxofosfórico |
| H ₂ SO ₄ | Ácido tetraoxosulfúrico |
| HNO ₃ | Ácido trioxonítrico |
| Ca | Calcio |
| CaCO ₃ | Carbonato de calcio |
| °C | Celcius |
| cm ³ | Centímetros cúbicos |
| DBO | Demanda biológica de oxígeno |
| DQO | Demanda química de oxígeno |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| P | Fósforo |
| PO ₄ | Fosfato |
| PO ₄ ⁻³ | Fosfato |
| H ₂ PO ₄ ⁻ | Fosfato di-hidrogeno |
| HPO ₄ ⁻² | Fosfato mono-hidrogeno |
| g | Gramos |
| OH ⁻ | Hidroxilo ⁻ |
| kg | Kilogramos |
| L | Litros |
| Mg | Magnesio |
| mg/L | Miligramos/litros |

| | |
|------------------------|---------------------|
| mg | Miligramos |
| mL | Mililitros |
| NO₃ | Nitrato |
| NP | Número más probable |
| SiO₂ | Óxido de silicio |
| Na | Sodio |

GLOSARIO

| | |
|-------------------------------|---|
| Afluente | Agua captada por un ente generador. |
| Aguas residuales | Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas. |
| Alcantarillado público | Conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas, que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor. |
| Calidad del agua | Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o cualquier necesidad humana o propósito. |
| Caracterización | Determinación de características físicas, químicas y biológicas. |
| Carga | El resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día. |

| | |
|--------------------------|--|
| Caudal | El volumen de agua por unidad de tiempo. |
| Efluente | Aguas residuales descargadas por un ente generador. |
| Eutrofización | Proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora. |
| Gestión | Conjunto de operaciones que se realizan para dirigir e implementar un proceso. |
| Lodos | Sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales. |
| Muestra | Parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos. |
| Muestra compuesta | Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos. |

Reglamento

Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, según Acuerdo Gubernativo 236-2006. En todo el trabajo de investigación, la palabra Reglamento hará mención a este documento.

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es el desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y la disposición final de los efluentes, basado en la determinación del caudal y la calidad del agua de los efluentes de un taller mecánico automotriz para compararlos con los límites máximos permitidos en el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, según acuerdo 236-2006.

Para cumplir con el objetivo se determinó un caudal promedio de los efluentes totales y se determinaron algunos parámetros físicos, químicos y biológicos de 5 muestras compuestas tomadas semanalmente en el periodo del 7 de abril al 6 de mayo del 2015. En las propiedades físicas se determinó el color y los sólidos en suspensión; en las propiedades químicas se determinó el potencial de hidrógeno, los fosfatos y nitratos, la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno; y en las propiedades biológicas únicamente se determinarían los coliformes fecales.

A partir de los análisis obtenidos se determinó que los efluentes del taller mecánico y automotriz sobrepasan los límites máximos permitidos según el artículo 28 para la cuarta etapa del Reglamento y deben de ser tratados antes de su disposición final en el alcantarillado. Se desarrolló un plan de gestión en el cual se propuso un tren de tratamiento en 3 etapas que consiste en: un tratamiento primario con un sedimentador digestor, un tratamiento secundario con un biodigestor autolimpiable y por último un tratamiento terciario de intercambio de iones.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un plan de gestión para el tratamiento y disposición de los efluentes de un taller mecánico automotriz que cumpla con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, según Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Específicos

1. Determinar el caudal de las aguas residuales totales un taller mecánico automotriz.
2. Analizar la calidad del agua residual previa a la descarga en el alcantarillado para un taller mecánico automotriz.
3. Comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los efluentes finales con la cuarta etapa del artículo 28 del Reglamento.
4. Determinar los parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata para el cumplimiento de los límites máximos permitidos en la cuarta etapa del artículo 28 del Reglamento.
5. Proponer conceptualmente un plan de gestión y disposición de las aguas residuales que cumpla con las normas ambientales establecidas, que sea adecuado a los resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN

La cuestión compleja frente al ingeniero de diseño y funcionarios de salud pública son los niveles de tratamiento que se deben lograr en una determinada aplicación, para asegurar la protección de la salud pública y el medio ambiente.

En la actualidad el control de efluentes de aguas residuales, así como el tratamiento de aguas duras, es un problema que enfrentan la mayoría de las industrias que involucran procesos de manufactura en el país. Estos problemas suelen ser tratados con métodos que involucran una elevada inversión económica y un alto consumo energético. Pero no para todos los procesos se requiere de una alta inversión, todo depende de los resultados obtenidos en el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para procesos industriales grandes es indispensable una planta de tratamiento. La capacidad de una planta de tratamiento se expresa entre otros indicadores, principalmente por la cantidad de materia orgánica que puede remover; por tanto en el diseño se requiere tener en cuenta tanto el caudal como la concentración de esta materia orgánica, expresados en litros o metros cúbicos por segundo y en miligramos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) por litro, respectivamente. Bajo estos criterios, se hace el presente análisis comparando la concentración de DBO₅/L que actualmente reciben las plantas versus la que fuera considerada para sus diseños.

Para llegar a este punto es indispensable la propuesta de un plan de gestión de aguas residuales. Este plan es un compendio de acciones que se proponen para que el ente generador o persona que descarga al alcantarillado

público cuente con la base técnica-científica indispensable que le permita inducir su desempeño ambiental, y pueda definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para cumplir con los límites máximos permisibles y las metas que el reglamento estipula.

1. ANTECEDENTES

Los siguientes trabajos de graduación se realizaron en la Universidad de San Carlos de Guatemala, para la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería.

En 1978 se realizó un trabajo de graduación con el tema *Guía para tratamiento de aguas y su aplicación en el diseño de una planta de tratamiento de aguas de desecho industrial provenientes de una planta de jabones y detergentes*, por el investigador Osberto Cuéllar Juárez. En este trabajo se presentan conceptos básicos acerca de la contaminación de las aguas y los sistemas más comunes para su tratamiento, informando sobre la actividad experimental a nivel laboratorio para conocer el nivel de contaminación en los parámetros estudiados y su reducción mediante el empleo de una cantidad óptima de coagulantes. Finalmente, el investigador propone una planta de tratamiento de aguas de desecho industrial provenientes de una planta de detergentes y jabones.

En el 2001 se realizó un trabajo de investigación, por el investigador Javier Estuardo Aldana Duarte, con el tema *Guía para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales generadas en una fábrica de productos de limpieza*. En el trabajo se presentan los procedimientos realizados para el análisis del agua de desecho de una fábrica que produce implementos de limpieza, con el fin de diseñar una propuesta de una planta de tratamiento y disposición de los residuos de la misma para impulsar y complementar el estudio de impacto ambiental en el cual estaban trabajando. El investigador concluye al finalizar con un presupuesto y costo total de la inversión para el

tratamiento de los desechos, basado en el cumplimiento con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

En el 2002 el investigador Juan Antonio López Navarro realizó su trabajo de graduación con el tema *Caracterización de las aguas residuales de una industria de fabricación de fragancias, y propuesta de tratamiento y disposición de las mismas*. En este trabajo se evaluó la calidad del agua residual proveniente de la industria de fabricación de fragancias, tomando como base la legislación nacional sobre el vertido de contaminantes. El estudio consistió en la recolección de muestras de agua en diferentes puntos para un ciclo de producción, con el fin de determinar los parámetros de calidad físicos, químicos y biológicos. Con base en los resultados determinó que la industria requería de un sistema de tratamiento y propuso conceptualmente los diferentes métodos de tratamiento de las aguas residuales para esta fábrica.

En el 2004 se realizó un trabajo de investigación con el tema *Caracterización, propuesta de tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria galvanizadora de tubería por inmersión en caliente*, por la investigadora Mirna Beatriz Ramírez Valdivieso. En este trabajo se evaluó la calidad del agua residual procedente de una industria galvanizadora de tubería por inmersión en caliente, tomando como base los reglamentos y propuestas de ley. Esto lo determinó mediante la recolección de muestras del agua derivada de tres distintos puntos del proceso, analizándolas y determinando los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Con base en esto determinó que las aguas residuales no cumplen con los parámetros legislados, por lo tanto propuso un sistema de tratamiento consistente en un proceso de precipitación química y neutralización de las aguas residuales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción de los servicios ofrecidos en el taller mecánico automotriz

El taller mecánico automotriz al cual se le realizará el estudio de los efluentes finales cuenta con los servicios de inyección electrónica, diagnóstico computarizado, mecánica general, enderezado y pintura, venta de repuestos, accesorios y electrónicos.

Dentro de este ámbito el uso del agua y aceites es fundamental para varios servicios, por eso es necesario el análisis de los efluentes finales, ya que una cantidad considerable de los residuos líquidos arrastran diferentes sustancias que son contaminantes y pueden causar impactos en el ambiente.

2.2. Aguas residuales

Se define el agua residual como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales (recolección y tratamiento).

Generalmente los generadores de aguas residuales se pueden agrupar en aguas residuales domésticas, industriales (caracterizadas o medidas y no medidas) y comerciales.

2.2.1. Características de las aguas residuales

El entendimiento de la naturaleza física, química y biológica del agua es esencial para todo ingeniero. El agua, considerada como una sustancia químicamente pura, solamente existe en el laboratorio. En la naturaleza el agua entra en contacto con el suelo, la atmósfera y adquiere elementos o sustancias (a través de vertimientos) que alteran su composición original.

El agua, cualquiera que sea su estado, está caracterizada por ciertas propiedades que la distinguen de los demás líquidos y su calidad se determina analizando en el laboratorio varios parámetros físicos, químicos y biológicos.

Para saber qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Como se puede intuir existen muchos parámetros, muchas formas y varios métodos para medir dichos parámetros.

2.2.1.1. Características físicas

Se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

2.2.1.1.1. Turbiedad

Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. Algunas de las causas son: erosión natural de las cuencas y contaminación causada por la industria o desechos domésticos.

La turbiedad se expresa en unidades de turbiedad. Una unidad de turbiedad es una cantidad patrón empírica producida al agregar 1 mg de óxido de silicio a 1 litro de agua destilada.

2.2.1.1.2. Color

Mientras que la turbiedad se considera ocasionada por partículas de gran tamaño (diámetros $> 10^{-3}$ mm); el color se considera generado por sustancias disueltas y por coloides.

El color está clasificado como aparente y verdadero. El color aparente es producido por el material suspendido mientras que el color verdadero es el que permanece en el agua después de remover la turbiedad.

El color se expresa en unidades de color (UC). La unidad de color es la que se obtiene agregando 1 mg de cloroplatinato de potasio en 1 litro de agua destilada. El color se mide en laboratorio utilizando los colorímetros.

2.2.1.1.3. Olor y sabor

Se mencionan en conjunto por estar íntimamente ligados. Los olores y sabores en el agua están asociados con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor. Los olores y sabores objetables se pueden deber a la presencia de plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica. Específicamente la sustancia que produce olores en la descomposición de la materia orgánica es el ácido sulfhídrico. No existen instrumentos para determinar los olores y sabores en el

agua; generalmente estos se reportan en los análisis de aguas como presentes o no presentes.

2.2.1.1.4. Temperatura

La temperatura, además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, entre otros).

2.2.1.1.5. Sólidos

El primer tipo de sólidos de importancia para determinar la calidad del agua corresponde a los sólidos totales (ST). Los ST se definen como todo el material que queda después de evaporar el agua a 105 °C, es decir, ST es todo aquello presente en la muestra, excepto el agua.

Los sólidos sedimentales se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en mililitros/litros.

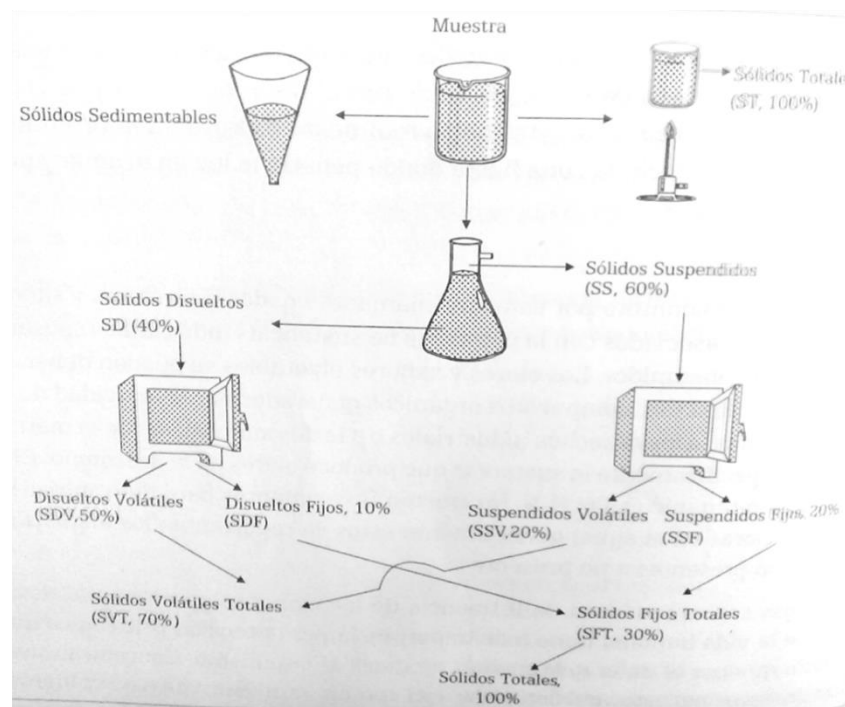
Los sólidos totales se dividen en suspendidos y disueltos. La cantidad y naturaleza de los sólidos presentes en el agua varía ampliamente. En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases.

Los sólidos disueltos se calculan pasando la muestra por un papel de filtro y luego determinando los sólidos totales del filtrado. Si se somete la muestra filtrada a evaporación en una mufla a aproximadamente 600 °C y se pesa el residuo, se obtienen los sólidos disueltos fijos (SDF). Por diferencia se determinan los sólidos disueltos volátiles (SDV).

Los sólidos suspendidos (SS) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS son, tal vez, los sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los sólidos suspendidos fijos (SSF) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV) se determinan de forma análoga a los SDF y SDV.

Figura 1. **Diferentes formas de sólidos presentes en el agua**



Fuente: SIERRA RAMÍREZ, Carlos A. *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. p. 58.

2.2.1.2. Características químicas

Las características químicas se dividen en dos clases:

- Los indicadores (pH, acidez, alcalinidad): son los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias.
- Las sustancias químicas (aceites y grasas, detergentes, hierro y manganeso, nitrógeno, fósforo, DBO, DQO, sustancias tóxicas): el agua, por ser considerada el solvente universal, tiene la posibilidad de que una gran cantidad de elementos y compuestos químicos estén presentes en ella.

2.2.1.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua en términos de la concentración de iones hidronio con base en una escala logarítmica. El pH se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$pH = -\text{Log}[H^+] \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Es importante aclarar que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad, pero no determina el valor de la acidez ni de la alcalinidad.

2.2.1.2.2. Conductividad

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), fósforo (P), bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm ($\mu\text{mho/cm}$) o siemens/cm. La conductividad es una medida indirecta de los sólidos disueltos.

2.2.1.2.3. Acidez

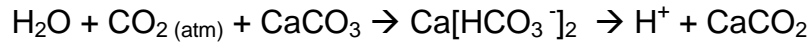
Cuando las aguas tienen un pH inferior a 8,5 son consideradas como ácidas. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO_2 o la presencia de un ácido fuerte (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl).

La presencia de ácidos fuertes en el agua se conoce como acidez mineral. Este tipo de acidez se presenta en el agua debido a la contaminación industrial. Desechos de la industria metalúrgica y la fabricación industrial. Las aguas que contienen acidez, sin importar el tipo, son corrosivas.

2.2.1.2.4. Alcalinidad

La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes (sustancias caracterizadas por el radical hidroxilo⁻ (OH^-)).

La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones, $[\text{OH}^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$; los cuales ingresan al agua debido a la acción del CO_2 sobre los materiales naturales del suelo.



| | | |
|-------------------|----------------|--------------|
| Componente | Alcalinidad al | Alcalinidad |
| natural del suelo | bicarbonato | al carbonato |

La alcalinidad también puede ser ocasionada por la presencia de bases fuertes en el agua. Estas llegan principalmente por contaminación industrial. La alcalinidad en altas concentraciones brinda un sabor desagradable al agua y en presencia de iones de Ca o Mg forma precipitados que ocasionan problemas de taponamiento. Además la alcalinidad controla el proceso de coagulación en el tratamiento del agua potable, y la digestión anaeróbica en el caso de tratamiento del agua residual.

Al igual que la acidez, la alcalinidad se mide en el laboratorio por titulación y los resultados se expresan en mg/L de CaCO₃.

2.2.1.2.5. Dureza

Se le denomina dureza a la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías.

Las aguas duras, fuera de las molestias ocasionadas con el jabón, no presentan ningún problema sanitario. Sin embargo, si van a ser utilizadas en la industria deben ser tratadas. El proceso que se utiliza para remover la dureza se llama ablandamiento o suavización.

2.2.1.2.6. Grasas

El término grasa se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión. Generalmente se pueden considerar grasas compuestos como los hidrocarburos, ésteres, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular.

Las grasas son generadas o llegan al agua por actividades antrópicas, y su presencia y medición están relacionadas principalmente con actividades que tienen que ver con el manejo de aguas residuales. En aguas naturales, la presencia de grasas inhibe el paso de la luz y del oxígeno disuelto en el agua, además, de que se adhieren a las branquias de los peces.

2.2.1.2.7. Detergentes

El término detergentes se aplica a toda la variedad de materiales utilizados para remover la mugre de la ropa, los platos, entre otros, es decir, todas las sustancias que producen espuma cuando el agua es agitada. Los detergentes son sustancias orgánicas que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua. Esta es la razón por la cual remueven la mugre. A los detergentes también se le conocen como tenso activos o surfactantes.

2.2.1.2.8. Hierro y manganeso

Se discuten en conjunto porque en la naturaleza siempre se encuentran juntos. Estos compuestos son básicamente importantes en las aguas subterráneas en las cuales se encuentran en altas concentraciones.

La presencia de hierro y manganeso en las aguas superficiales y subterráneas se debe al poder disolvente que tiene el CO₂ sobre los estratos del suelo reduciendo los compuestos férricos a hierro soluble.

El hierro y el manganeso se consideran importantes en el tratamiento del agua porque aunque no tienen efectos en la salud de los consumidores, tanto el hierro como el manganeso manchan la ropa y los aparatos sanitarios, además, cuando se agota el oxígeno forman compuestos que se depositan, corroen y obstruyen tuberías y equipos mecánicos.

2.2.1.2.9. Nitrógeno

Tanto el nitrógeno como el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores.

El nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. La prueba más común de determinación de nitrógeno es el Kjeldahl (NTK). EL NTK determina la concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal.

El nitrógeno de nitritos, cuya determinación se realiza colorimétricamente, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a nitratos. La concentración de nitritos raramente excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas residuales y de 0,1 g/mL en el caso de las aguas superficiales y subterráneas.

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Se forman en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas.

Es importante considerar los nitratos en el tratamiento del agua porque en concentraciones mayores de 10 mg/L como N(45 mg/L como NO_3), se ha comprobado que producen una enfermedad en los niños llamada metahemoglobinemia. Las concentraciones de nitrato en efluentes de agua residuales pueden variar entre 0 y 20 mg/L.

2.2.1.2.10. Fósforo

El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y por escorrentía.

Las formas más frecuentes en que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos como PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, H_3PO_4 .

El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser un constituyente de importancia en los vertimientos industriales y lodos de aguas residuales domésticas.

Los ortofosfatos son la forma más importante de fósforo en el agua debido a que se encuentran disueltos en ella y de esta manera son aprovechados por las plantas. Se recomienda que las concentraciones de fosfatos se expresen en términos de fósforo y no como miligramos de fosfato sobre litros (mg PO_4/L).

2.2.1.2.11. Demanda Biológica de Oxígeno

El parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar y estabilizar la materia orgánica.

La prueba de DBO más conocida es la DBO₅. Esta prueba se realiza incubando la muestra de agua en el laboratorio y al cabo de cinco días se mide el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en miligramos/litros de oxígeno consumido.

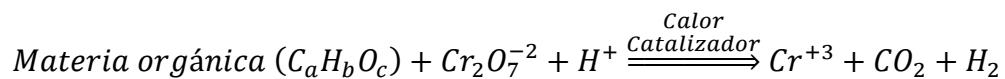
Esta prueba se utiliza para:

- Determinar la cantidad de oxígeno requerida para biológicamente estabilizar la materia orgánica.
- Dimensionar las unidades de tratamiento de agua.
- Medir la eficacia de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales.
- Cobrar las tasas retributivas.

2.2.1.2.12. Demanda Química de Oxígeno

La DQO es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. A diferencia de la DBO, en esta prueba la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química

y no microorganismos. El dicromato de potasio constituye actualmente el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO. Este compuesto tiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancia orgánicas, además, es fácil de determinar su concentración antes y después de la prueba, lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido. Otra de las ventajas de la DQO es el poco tiempo que demora: 3 horas. La reacción química que ocurre durante la determinación es:



Los valores de DQO son mayores que los de la DBO y la diferencia aumenta con la presencia de sustancias tóxicas que hagan la muestra de agua biológicamente resistente a la degradación.

Solo en el caso de desechos que se estudien cuidadosamente es posible obtener una relación entre DQO y DBO. Una vez esta relación se conoce, se puede eliminar el ensayo de DBO y con la relación DQO/DBO, determinar la cantidad de materia orgánica biológicamente degradable.

2.2.1.3. Características microbiológicas

Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Estos en el agua pueden ser patógenos (organismos que causan enfermedad a los seres vivos) o no patógenos. Los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos. Entre las enfermedades más comunes que se transmiten por el agua están:

- Cólera
- Gastroenteritis

- Fiebre tifoidea
- Disentería
- Parasitismos
- Hepatitis A
- Conjuntivitis

El indicador de calidad bacteriológica del agua es el grupo de bacterias coliforme. Este grupo coliforme está conformado por todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, Gram negativas, no formadoras de esporas y de forma redonda que fermentan la lactosa, formando gas en 48 horas y a 35 °C.

Los métodos bacteriológicos para detectar coliformes son: la técnica de los tubos múltiples de fermentación y la técnica de los filtro membrana.”¹

2.3. Tratamiento de aguas residuales

“Los métodos de tratamiento en el que la aplicación de fuerzas físicas predomina son conocidos como operaciones unitarias. Los métodos de tratamiento en los que se interpone la eliminación de contaminantes por medio de las reacciones químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios.”²

¹ SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico*. p. 457.

² METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. p.10-95.

2.3.1. Procesos de tratamientos de aguas residuales

Para el tratamiento de las aguas residuales deben estudiarse los fenómenos que actuarán en los efluentes para contrarrestar la contaminación que estos pueden ocasionar en el ambiente. Para esto existen procesos físicos, químicos y biológicos.

2.3.1.1. Procesos físicos

Estos procesos se caracterizan por la búsqueda de la remoción de sustancias físicamente separables de los líquidos o que no se encuentran disueltos. Estas sustancias generalmente están en suspensión.

Algunas operaciones físicas unitarias son:

- Mezclado
- Dilución de aguas residuales
- Sedimentación
- Flotación
- Transferencia de gases
- Filtración
- Incineración de lodos

2.3.1.2. Procesos químicos

Los procesos químicos son utilizados cuando los procesos físicos y biológicos no actúan de la forma esperada, por lo tanto es necesario el uso de sustancias químicas para el tratamiento de los residuos.

Algunos procesos químicos comúnmente utilizados son:

- Floculación
- Precipitación química
- Oxidación química
- Cloración
- Neutralización

2.3.1.3. Procesos biológicos

Los procesos biológicos han sido la alternativa adecuada para la degradación de las sustancias orgánicas presentes en el agua residual en forma coloidal o disuelta. Además, los procesos biológicos son utilizados para la eliminación del nitrógeno o fósforo contenido en el agua residual.

Los principales procesos biológicos son:

- Oxidación biológica
- Lodos activados
- Filtros biológicos o percoladores
- Zanjas de oxidación
- Lagunas de estabilización
- Digestión del lodo (aerobio, anaerobio)

2.3.2. Tipos de tratamientos de aguas residuales

A continuación se describe el proceso de los diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales.

2.3.2.1. Tratamientos preliminares

Consisten en la eliminación de los componentes relativamente grandes como trapos, palos, elementos flotantes, arena y grasa, que pueden causar problemas de mantenimiento o problemas en la operación de los equipos del proceso.

La importancia de esta etapa es el correcto acondicionamiento del agua para poder ser tratada de forma correcta. En el tratamiento preliminar se busca compensar los caudales, neutralizar los residuos, desarenar y controlar la temperatura.

Para esta etapa se pueden utilizar las siguientes unidades:

- **Rejas de barras/tamizador:** son ubicadas al inicio del tratamiento para eliminar sólidos gruesos como piedras, ramas, papel, plásticos, trapos, entre otros. El espacio entre las rejas es establecido de acuerdo con el tamaño de los sólidos que se desean remover.
- **Desarenadores:** esta unidad es importante debido a que protege a los equipos del posible efecto abrasivo de la arena. Generalmente son grandes canales longitudinales, en los cuales es disminuida la velocidad de los efluentes para que la arena se deposite y solamente los sólidos orgánicos en suspensión continúen a la siguiente etapa del tratamiento.
- **Torre de enfriamiento:** en caso de que los efluentes salgan a una temperatura muy alta, es posible utilizar una torre de enfriamiento. Esta es un intercambiador de calor donde el efluente caliente puede caer en

forma de lluvia desde la parte superior de la torre y desde la parte inferior se hace fluir una corriente de aire seco y frío.

2.3.2.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario pretende la eliminación de una porción de los sólidos en suspensión y de materia orgánica de las aguas residuales, es decir, busca la reducción, remoción y sedimentación de una fracción de los sólidos.

Algunas unidades para el tratamiento primario son:

- **Floculador:** en este reactor se pretende reducir la alcalinidad, coagular sólidos en suspensión por medio de floculantes [$Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, polihidroxi de aluminio, polihidroxocloruro de aluminio] y separar los lodos del agua clarificada. Para la reducción de la alcalinidad se utiliza generalmente cal.
- **Fosa séptica:** consiste en un contenedor donde se dejan reposar los residuos para que se depositen los sólidos en suspensión. Además se utilizan bacterias anaerobias para descomponer la materia orgánica en inorgánica y convertir algunos sólidos insolubles en solubles.
- **Tanque Imhoff:** su función de tratamiento se basa en la digestión anaeróbica de las aguas residuales por parte de bacterias en tres compartimientos donde se sedimentan, ventilan y dirigen los lodos.
- **Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA):** es un tanque simple en el cual los efluentes son alimentados por el fondo y fluyen hacia arriba, donde atraviesan una capa de lodo suspendida que filtra las aguas

residuales. En la parte superior se recuperan los gases, los cuales pueden ser utilizados como biogás, y por otro lado es extraída el agua tratada.

2.3.2.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es conocido como la etapa de desinfección, puesto que en esta se elimina la materia orgánica biodegradable, los sólidos en suspensión, y en los casos en los que se requiera, la eliminación de nutrientes (nitrógeno o fósforo).

Algunas unidades para el tratamiento secundario son:

- **Filtros percoladores:** consiste en roscar desde la parte superior a un lecho de piedras, donde el agua residual va a fluir y entrar en contacto con la superficie de las mismas, donde los microorganismos irán degradando la materia orgánica y filtrando los efluentes.
- **Sedimentadores secundarios:** su función es remover sólidos suspendidos, grasas y aceites. Existen de formas circulares o rectangulares.
- **Lodos activados:** este proceso se realiza mediante la mezcla y aireación de un lodo biológico con el agua residual dentro de un tanque reactor. Los flóculos formados en este proceso se sedimentan en un tanque donde son recirculados al reactor para aumentar el tiempo de residencia de los residuos para optimizar el proceso.

2.3.2.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se hace necesario cuando los tratamientos anteriormente descritos nos son suficientes y se desea eliminar los posibles sólidos suspendidos y nutrientes que aún permanecen en las aguas residuales. Por lo general se realiza por medio de filtración granular o microscreens.

2.3.2.5. Disposición de lodos

Los lodos que son separados de las distintas etapas del tratamiento deben de agruparse y confinarse según el tipo de residuo que sea.

Estos lodos no pueden ser descartados de forma directa. Su disposición según su característica puede ser:

- Aplicación al suelo como abono o compost
- Disposición en rellenos sanitarios
- Confinamiento o aislamiento
- Calcinación

2.3.3. Bases legales para el manejo de residuos

A continuación se describen las bases legales y los artículos más importantes para el manejo de los residuos.

2.3.3.1. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006)*

“La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

2.3.3.1.1. *Objetivo del Reglamento*

El Reglamento, en conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente tiene por objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos.

Lo anterior para que a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

Además, el reglamento establece los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

2.3.3.1.2. Aplicación del Reglamento

Este Reglamento debe aplicarse a:

- Los entes generadores de aguas residuales;
- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;
- Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales; y
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

2.3.3.1.3. Caracterización

Respecto de la caracterización, en el capítulo IV de este Reglamento se establece que:

- La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas que vierten estas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico (artículo 13).
- La persona individual o jurídica, pública o privada, que genere aguas residuales para reuso o las reusen, deberá realizar la caracterización de las aguas que genere y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico (artículo 14).
- La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico (artículo 15).

2.3.3.1.4. Parámetros de medición

En el artículo 16 se establecen los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales. Estos son:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20 °C
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

2.3.3.1.5. Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO

Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la DBO de las aguas residuales que descargan al alcantarillado público, conforme a los valores y etapas de cumplimiento de la siguiente tabla:

Tabla I. **Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO**

| Etapa | Uno | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil once | | | | |
| Duración en años | 5 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000≤EG<6000 | 6000≤EG<12000 | 12000≤EG<25000 | 25000≤EG<50000 | 50000≤EG<250000 |
| Reducción porcentual | 10 | 20 | 30 | 35 | 50 |
| Etapa | Dos | | | | |
| Duración en años | 4 | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil quince | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000≤EG<5500 | 5500≤EG<10000 | 10000≤EG<30000 | 30000≤EG<50000 | 50000≤EG<125000 |
| Reducción porcentual | 10 | 20 | 40 | 45 | 50 |
| Etapa | Tres | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinte | | | | |
| Duración en años | 5 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000≤EG<5000 | | 5000≤EG<10000 | 10000≤EG<30000 | 30000≤EG<65000 |
| Reducción porcentual | 50 | | 70 | 85 | 90 |
| Etapa | Cuatro | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinticuatro | | | | |
| Duración en años | 4 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000<EG<4000 | | | 4000≤EG<7000 | |
| Reducción porcentual | 40 | | | 60 | |

Fuente: *Acuerdo Gubernativo Núm. 236-2006. Artículo 17. p. 8.*

2.3.3.1.6. **Determinación de la demanda química de oxígeno**

Dos de estos parámetros requieren de mucha atención y son muy importantes para el estudio. Debido a esto, se establece en el Reglamento que en el estudio técnico realizado se debe de incluir la razón entre la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno (artículo 18).

2.3.3.1.7. Meta de cumplimiento

La meta de cumplimiento (artículo 19), al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en 3 000 kg/día de DBO, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que 200 mg/L de DBO. Los entes generadores existentes que alcancen y mantengan estos valores habrán cumplido con la meta establecida y con el modelo de reducción progresiva de cargas.

Los entes generadores existentes que registren cargas menores o iguales a 3 000 kg/día de DBO, pero que registren valores mayores a 200 mg/L en el parámetro de calidad asociado, procederán a efectuar la reducción del valor de dicho parámetro de conformidad con los porcentajes correspondientes a la primera columna del lado izquierdo correspondiente a los rangos, en el modelo de reducción progresiva de cargas (ver tabla II).

Los entes generadores existentes de aguas residuales de tipo especial y ordinario que después de tratar dichas aguas, y que en cualesquiera de las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas alcancen y mantengan valores en el parámetro de calidad asociado, iguales o menores que 100 mg/L en la DBO, podrán realizar descargas mayores a 3 000 kg/día de DBO.

2.3.3.1.8. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público

Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores se presentan en la tabla siguiente:³

³ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Reglamento de las Descargas y Reuso de las Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006.* p.9.

Tabla II. **Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público**

| | | | Fecha máxima de cumplimiento | | | |
|------------------------|--|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Dos de mayo de dos mil once | Dos de mayo de dos mil quince | Dos de mayo de dos mil veinte | Dos de mayo de dos mil veinticuatro |
| | | | Etapa | | | |
| Parámetros | Dimensionales | Valores iniciales | Uno | Dos | Tres | Cuatro |
| Temperatura | Grados Celsius | < 40 | < 40 | < 40 | < 40 | < 40 |
| Grasas y aceites | Miligramos por litro | 1500 | 200 | 100 | 60 | 60 |
| Materia flotante | Ausencia/presencia | Presente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| Sólidos suspendidos | Miligramos por litro | 3500 | 1500 | 700 | 400 | 200 |
| Nitrógeno total | Miligramos por litro | 1400 | 180 | 150 | 80 | 40 |
| Fósforo total | Miligramos por litro | 700 | 75 | 40 | 20 | 10 |
| Potencial de hidrógeno | Unidades depotencial de hidrógeno | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 |
| Coliformes fecales | Número más probable en cien mililitros | < 1x10 ⁸ | < 1x10 ⁶ | < 1x10 ⁵ | < 1x10 ⁴ | < 1x10 ⁴ |
| Arsénico | Miligramos por litro | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Cianuro total | Miligramos por litro | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Cobre | Miligramos por litro | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Cromo hexavalente | Miligramos por litro | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Mercurio | Miligramos por litro | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Níquel | Miligramos por litro | 6 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Plomo | Miligramos por litro | 4 | 1 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Zinc | Miligramos por litro | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Color | Unidades platino Cobalto | 1500 | 1300 | 1000 | 750 | 500 |

Fuente: Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006. Artículo 28. p. 9.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Para el desarrollo de la investigación es necesaria la definición de las variables y parámetros de estudio.

El proyecto comprende las siguientes etapas de caracterización:

- Recopilación de datos del caudal de los efluentes totales
- Recopilación de datos de las propiedades físicas
 - Color
 - Sólidos en suspensión
- Recopilación de datos de las propiedades químicas
 - Potencial de hidrógeno (pH)
 - Fosfatos
 - Nitratos
 - DBO
 - DQO
- Recopilación de datos de las propiedades biológicas
 - Coliformes fecales

A continuación se muestra el análisis de las variables y parámetros presentes:

Tabla III. **Variables presentes en la caracterización de las aguas residuales finales**

| Nombre | Unidad | Factor potencial de diseño | | Característica | Descripción |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|----------|----------------|---|
| | | Constante | Variable | | |
| Muestreo | - | X | | Controlable | Tipo de muestreo compuesto. |
| Fecha y hora de muestreo | - | X | | Controlable | Muestreo cada martes del 8 de abril al 6 de mayo del año 2015 en horario de 9:00 a 15:00 horas. |
| Caudal de los efluentes finales | L/día | | X | No controlable | Flujo de las aguas residuales finales. |
| Color | Unidades de platino | | X | No controlable | Color de las aguas residuales. |
| Sólidos en suspensión | mg/L | | X | No controlable | Sólidos en suspensión de las aguas residuales. |
| pH | Adimensional | | X | No controlable | Potencial de hidrógeno de las aguas residuales. |
| Fósforo total | mg/L | | X | No controlable | Concentración de fosfatos en las aguas residuales. |
| Nitrógeno total | mg/L | | X | No controlable | Concentración de nitratos en las aguas residuales |
| DBO | mg/L | | X | No controlable | Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica. |
| DQO | mg/L | | X | No controlable | Cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales. |
| Coliformes fecales | NMP en 100 mL | | X | No controlable | Número más probable en 100 mL. |

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Campo de estudio: desecho de líquidos, sólidos, operaciones unitarias de transferencia de momento.

- Etapas que conforman la investigación:
 - Determinación de datos del caudal de los efluentes totales
 - Determinación de datos de las propiedades físicas
 - Color
 - Sólidos en suspensión
 - Determinación de datos de las propiedades químicas
 - Potencial de hidrógeno (pH)
 - Nitrógeno total
 - Fósforo total
 - DBO
 - DQO
 - Determinación de datos de las propiedades biológicas
 - Coliformes fecales

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Selvyin Aldair Solórzano Flores
- Asesor: ingeniero químico
Jorge Mario Estrada
Colegiado núm. 685

3.4. Recursos materiales disponibles

Debido a que el análisis de las muestras compuestas se realizó en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”; solo se necesitaron los recipientes para la toma de las muestras, los cuales también fueron brindados por el laboratorio.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El desarrollo del plan de gestión de tratamiento y disposición de los efluentes finales se realizará utilizando técnicas combinadas.

Se determinarán datos cualitativos como la presencia de materia flotante y de grupos coliformes. En cuanto a los datos cuantitativos se recopilará el caudal [L/día], el color [unidades de platino], sólidos en suspensión [mg/L], pH, fosfatos [mg/L], nitratos [mg/L], DBO y DQO [mg/L] y coliformes fecales [NMP].

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para la determinación de las características fisicoquímicas y biológicas se tomara una muestra semanal durante 5 semanas, las cuales serán analizadas en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, ubicado en el edificio T5 de la Facultad de Ingeniería.

Para la determinación de los parámetros establecidos el laboratorio utilizará una metodología validada. Como información de soporte, en la sección de anexos se detallan las metodologías en diagramas de flujo tomadas del *Manual de procedimientos analíticos para muestras ambientales del Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y Ambiente de Uruguay*.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los resultados de los parámetros evaluados de las muestras tomadas se presentarán en informes individuales por muestra presentados por parte del laboratorio que realizará los análisis.

Estos datos se recolectarán en una única tabla para comparar con los límites máximos permitidos y realizar gráficas de los resultados en función de las fechas de las muestras.

3.8. Análisis estadístico

A continuación se describirá el tratamiento estadístico de datos utilizado.

3.8.1. Diseño experimental

El número de repeticiones en las mediciones experimentales se realiza con el objetivo de disminuir los errores aleatorios y empíricos; esto permite que las mediciones sean más precisas.

Para determinar el número de corridas se tomará un valor de confiabilidad del 95 %, con una probabilidad de fracaso del 5 % que implica un valor de $\alpha = 0,05$. El valor $Z_{\alpha/2} = 2,06$ se obtiene de la distribución normal. El error estimado para las mediciones es de 0,20.⁴

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * p * q}{e^2} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

⁴ WARPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 186.

Donde:

n = número de corridas experimentales

$Z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza deseado en las mediciones

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

e = error experimental estimado

- Sustituyendo los valores en la ecuación núm. 2:

$$n = \frac{(2,06)^2 * 0,95 * 0,05}{(0,20)^2}$$

$$n = 5,04$$

El número de repeticiones es de $n = 5,04$; indicando que se deben realizar 5 corridas, para poder cumplir con una confiabilidad de 95 % y estimando un error del 0,20; lo que con lleva a que los resultados del experimento sean precisos.

Por lo tanto, para este trabajo de investigación se realizará la toma de 5 muestras para su análisis físico, químico y biológico.

3.8.2. Medidas de tendencia central

A continuación se presentan las medidas de tendencia central utilizadas para el desarrollo del trabajo de investigación.

3.8.2.1. Media aritmética

La media aritmética de un conjunto de valores $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ de una variable x viene determinada por la suma de dichos valores, dividida por el número de la muestra (n), representada matemáticamente de la siguiente forma:⁵

$$x_p = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

3.8.3. Medidas de dispersión

Describen la cantidad de dispersión, o variabilidad que se encuentra entre los datos. El agrupamiento entre los datos indica una dispersión baja y viceversa.

3.8.3.1. Varianza

Es la media de las desviaciones (x) al cuadrado respecto de la media aritmética (x_p) de una distribución estadística.⁶

$$S^2 = \frac{\sum(x-x_p)^2}{n-1} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde n es el tamaño de la muestra.

⁵ JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. p.64.

⁶ Op. Cit. p.66.

3.8.3.2. Desviación estándar

La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación.⁷

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

3.9. Plan de análisis de los resultados

El análisis de los resultados cuantificables se realizará utilizando herramientas gráficas, para realizar la comparación de las propiedades analizadas para cada muestra en el tiempo estipulado de medición de las mismas contra los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se elaborarán representaciones gráficas que muestren los resultados de los análisis obtenidos de las muestras contra el tiempo, para la obtención de los máximos medidos de cada uno de los parámetros, para compararlos con los límites máximos permitidos del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. A partir de estos datos se podrá establecer un plan de gestión para el tratamiento y disposición final de los efluentes finales.

3.9.1. Programas a utilizar en el análisis de los datos

Para la elaboración de las representaciones gráficas de los datos obtenidos, se utilizará el software Microsoft Excel.

⁷ JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. p. 67.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de las muestras tomadas en el taller mecánico y automotriz.

Tabla IV. **Comparación de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las muestras tomadas con los límites máximos permitidos del Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006**

| Parámetro | Unidades | 08 / 04 /2015 | 15 / 04 / 2015 | 21 / 04 /2015 | 29 / 04 /2015 | 06 / 05 /2015 | Límites máximos permitidos |
|---------------------------------|------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------------------|
| Características físicas | | | | | | | |
| Olor | - | Lig. séptico | Lig. séptico | Séptico | Séptico | Materia orgánica | - |
| Color | Unidades de PtCo | 83,50 | 425,00 | 862,50 | 1500,00 | 470,00 | 500,00 |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 240,00 | 266,00 | 520,00 | 15,00 | 850,00 | 200,00 |
| Características químicas | | | | | | | |
| DBO | mg/L | 110,00 | 763,00 | 165,00 | 163,00 | 75,00 | 200,00 |
| DQO | mg/L | 243,00 | 1276,00 | 387,00 | 264,00 | 171,00 | - |
| DQO/DBO | - | 2,21 | 1,67 | 2,35 | 1,62 | 2,28 | 1,7 a 2,4 |
| Fosfatos | mg/L | 194,00 | 38,00 | 21,00 | 175,00 | 55,00 | 10,00 |
| Nitratos | mg/L | 80,00 | 320,00 | 686,00 | 572,00 | 88,00 | 40,00 |
| pH | - | 7,09 | 7,36 | 7,50 | 7,20 | 7,20 | 6 a 9 |
| Examen bacteriológico | | | | | | | |
| Aspecto | - | Turbio | Turbio | Turbio | Turbio | Turbio | |
| Coliformes totales | NMP en 100 mL | >16E7 | >16E7 | >16E7 | >24E7 | >16E6 | - |
| Coliformes fecales 44,5 °C | NMP en 100 mL | 8E5 | >16E7 | 8E5 | 4E5 | 4E4 | < 1x104 |

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 3 y tabla II.

Tabla V. Promedio y desviación estándar de análisis de muestras

| Parámetro | Unidades | Promedio | Límites máximos permitidos | Desviación estándar |
|---------------------------------|------------------|----------|----------------------------|---------------------|
| Características físicas | | | | |
| Color | Unidades de PtCo | 668,20 | 500,00 | 540,82 |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 346,90 | 200,00 | 342,47 |
| Características químicas | | | | |
| DBO | mg/L | 255,20 | 200,00 | 286,38 |
| DQO | mg/L | 468,20 | - | 458,22 |
| DQO/DBO | - | 2,03 | 1,7 a 2,4 | 0,35 |
| Fosfatos | mg/L | 96,60 | 10,00 | 81,41 |
| Nitratos | mg/L | 349,20 | 40,00 | 275,96 |
| pH | - | 7,27 | 6 a 9 | 0,16 |
| Examen bacteriológico | | | | |
| Aspecto | - | Turbio | | Turbio |
| Coliformes totales | NMP en 100 mL | >16E6 | - | >16E6 |
| Coliformes fecales 44.5 °C | NMP en 100 mL | 3,24E+07 | < 1x104 | 7,13E+07 |

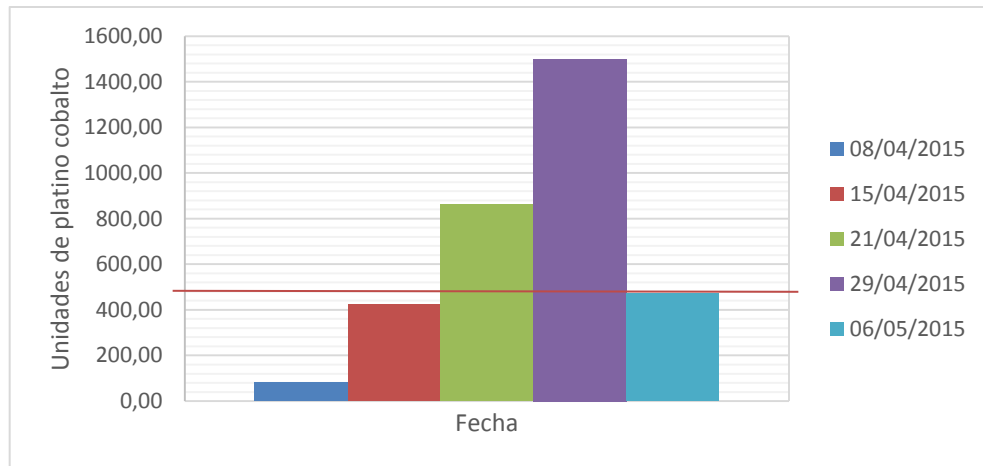
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVI.

Tabla VI. Caudal y cargas de DBO

| | | |
|------------------|---------------------|------------|
| Caudal | 900,0000 | L/día |
| Carga de DBO min | 0,0675 | kg DBO/día |
| Carga de DBO máx | 0,6867 | kg DBO/día |
| Carga permitida | 3 000 < DBO < 4 000 | kg DBO/día |

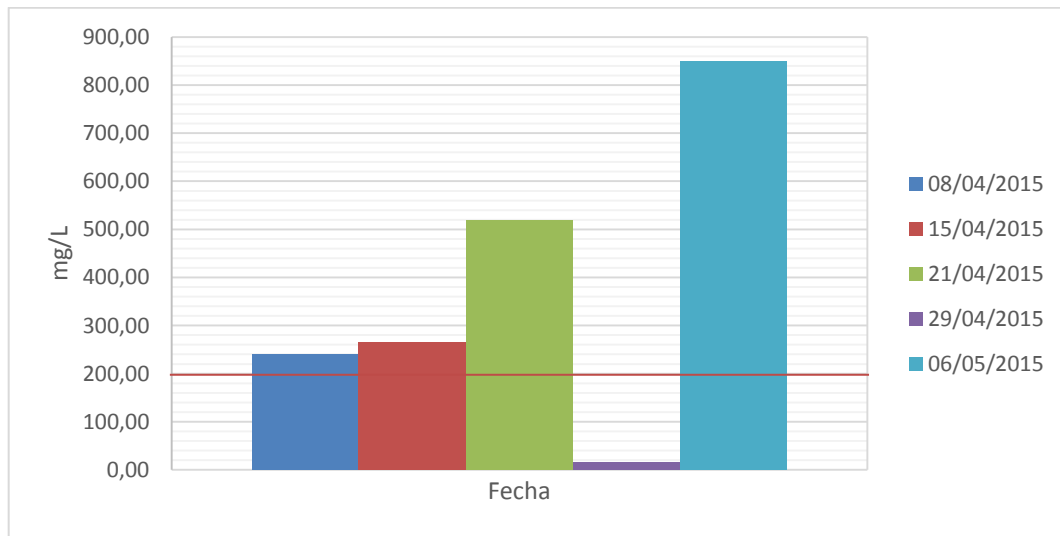
Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 4 y tabla XVI.

Figura 2. **Resultados de análisis de color en función de la fecha de toma de muestra**



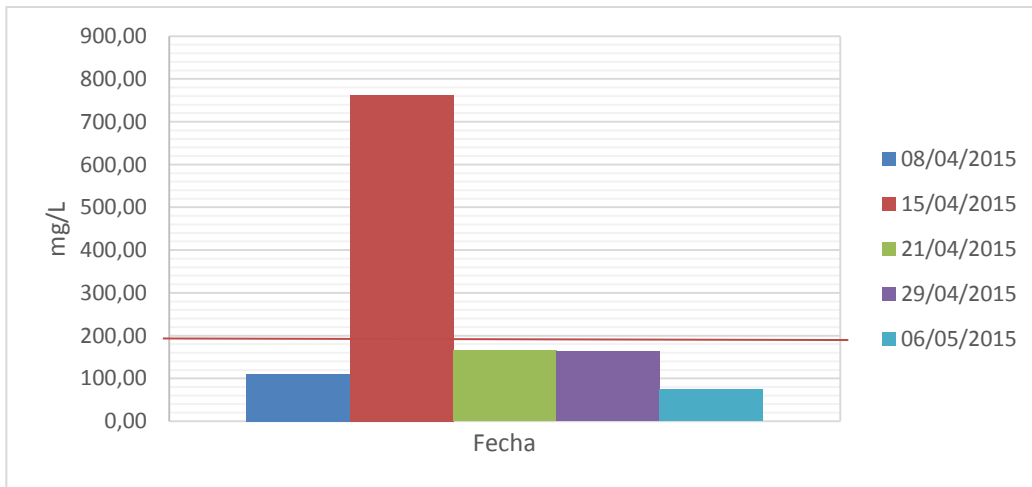
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 3. **Resultados de análisis de sólidos suspendidos en función de la fecha de toma de muestra**



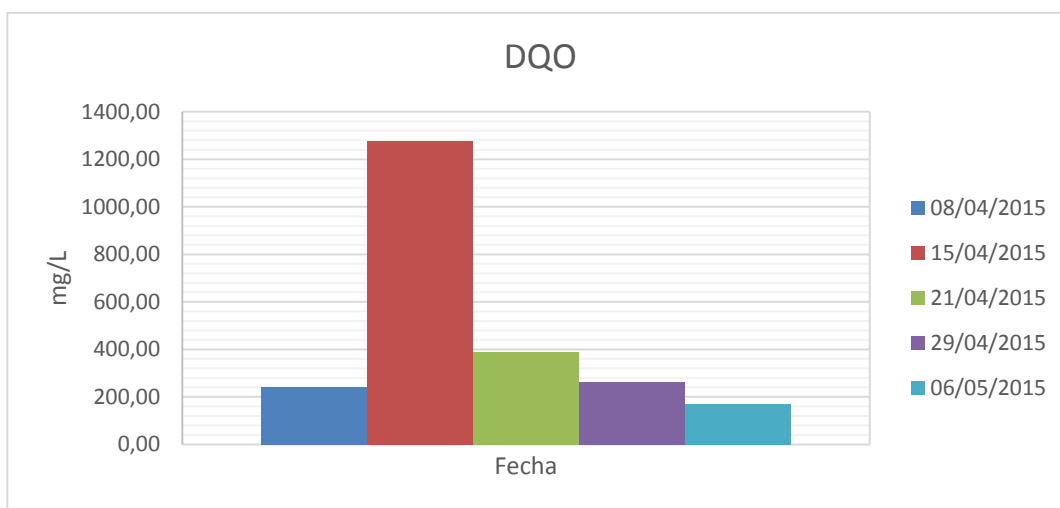
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 4. **Resultados de análisis de DBO en función de la fecha de toma de muestra**



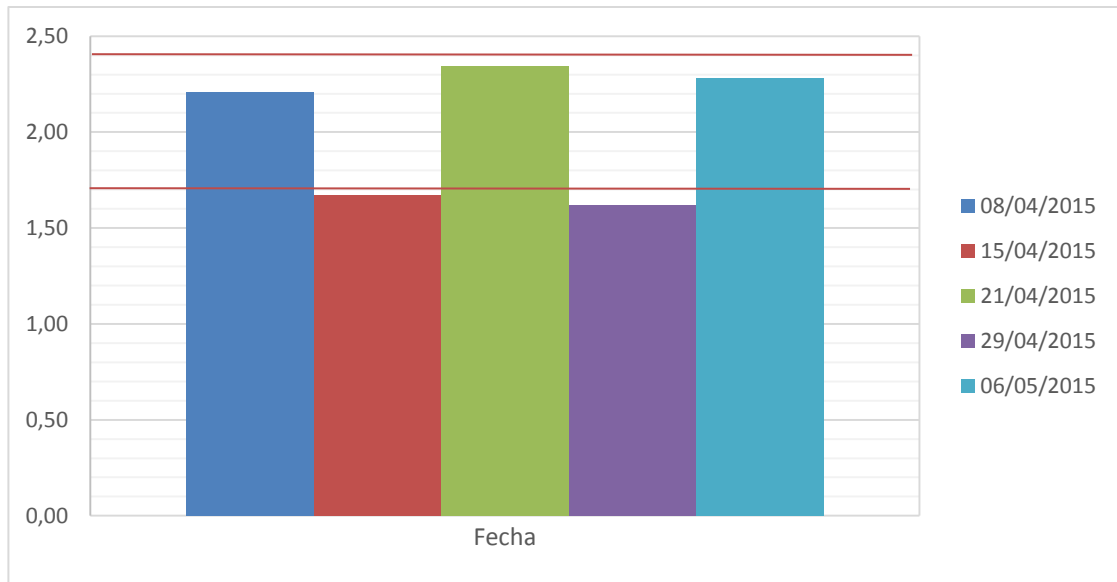
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 5. **Resultados de análisis de DQO en función de la fecha de toma de muestra**



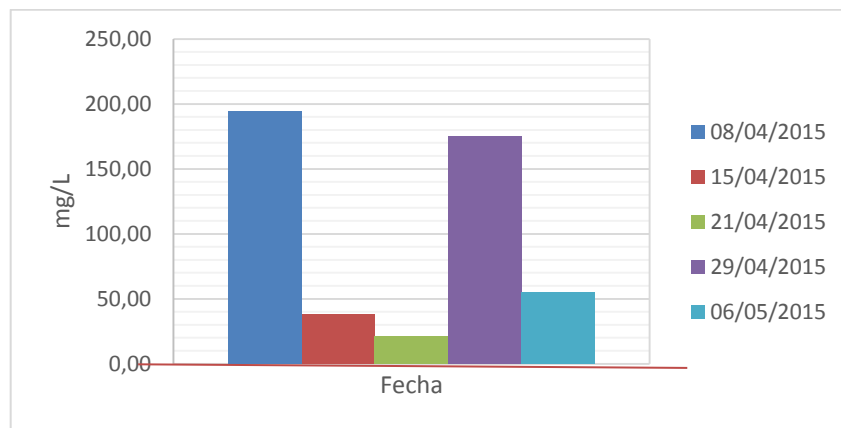
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 6. **Relación de DQO/DBO en función de la fecha de toma de muestra**



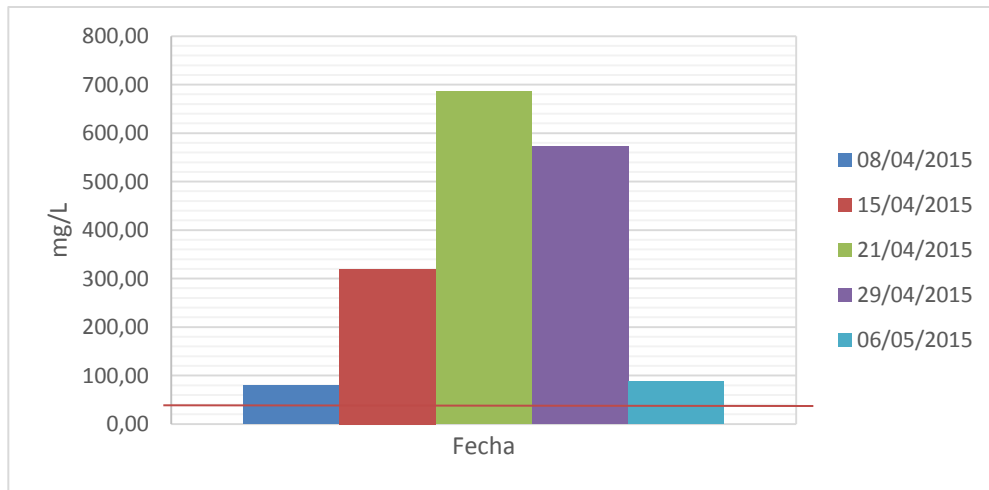
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 7. **Resultados de análisis de fosfatos en función de la fecha de toma de muestra**



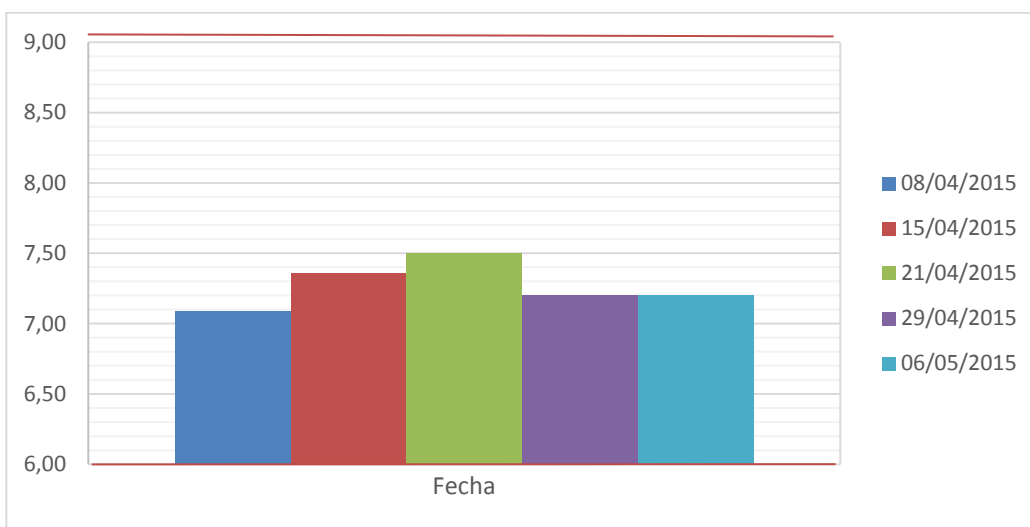
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 8. **Resultados de análisis de nitratos en función de la fecha de toma de muestra**



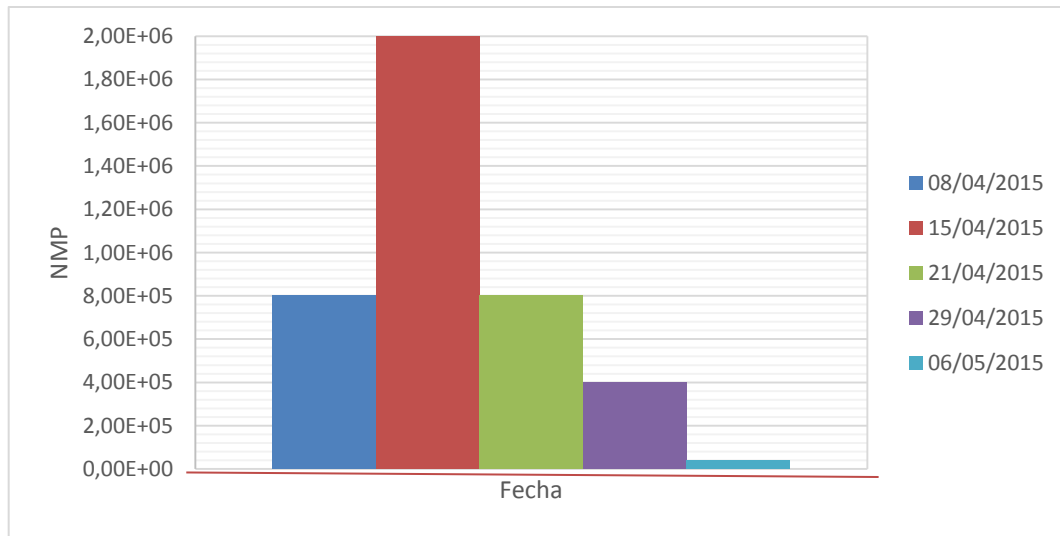
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 9. **Resultados de análisis de pH en función de la fecha de toma de muestra**



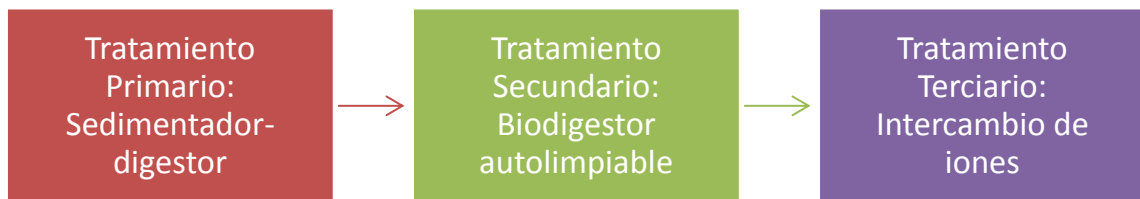
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 10. **Resultados de análisis de coliformes fecales en función de la fecha de toma de muestra**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla IV.

Figura 11. **Tren de tratamiento propuesto para el tratamiento de las aguas residuales del taller mecánico automotriz**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante el período del 8 de abril al 6 de mayo del 2015 se tomaron muestras compuestas semanalmente en el taller mecánico y automotriz “Autoservicio Alvarez”. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” y los resultados se presentan en la tabla IV, junto con los límites máximos permitidos del Reglamento.

En la tabla V se presenta una tabla resumen con cada parámetro analizado; el promedio obtenido de las muestras en comparación con los límites máximos permitidos y la desviación estándar de estas mediciones. En primera instancia podría empezarse a interpretar estos promedios obtenidos e indicar que los parámetros sobrepasan los límites permitidos de la cuarta etapa, pero con base en la desviación estándar se determinó que el promedio no es representativo, ya que las mediciones no mantienen un comportamiento constante y por lo tanto varían en función de la semana del mes laboral (como puede observarse desde la figura 2 a la figura 10).

En la tabla VI se expone el caudal de los efluentes descargados en el alcantarillado público junto a las cargas de DBO mínima, máxima y permitida. Es evidente que el taller tiene un caudal relativamente bajo, razón por la cual las cargas de DBO diarias son bajas en comparación con las permitidas, por lo tanto cumple con el modelo de reducción progresiva de cargas de demanda biológica de oxígeno del artículo 17 de la cuarta etapa del Reglamento, y no es necesario realizar ninguna reducción de carga diaria de DBO.

Los resultados obtenidos de cada parámetro fueron graficados en diagramas de barras en función de las fechas de toma de muestra y serán interpretados a continuación:

En la figura 2 se presentan los resultados de análisis de color. Es claro que existe un incremento de color en función del paso de los días, pero vuelve a reducirse al iniciar el mes. Por lo tanto a finales de mes se presentan los parámetros más altos de color y superan el máximo permitido por el Reglamento. Es necesario reducir el color de los efluentes finales.

En la figura 3 se presentan los resultados de análisis de sólidos suspendidos. Este parámetro no presenta un comportamiento claro, pero es evidente que por lo general se encuentra por encima de los límites permitidos. La causa probable de los sólidos suspendidos y el color es debido a los restos de pinturas desprendidas de los carros por medio de lijado, y desechadas al alcantarillado al lavar los restos que quedan en el suelo. Los sólidos suspendidos causan turbidez y es necesaria su remoción de los efluentes finales.

En las figuras 4 y 5 se presentan los resultados de análisis de DBO y DQO respectivamente. Respecto a estos parámetros los efluentes finales presentan un comportamiento adecuado, ya que se mantienen generalmente dentro de los límites máximos permitidos. Ocasionalmente se obtienen valores fuera de los permitidos, pero con un tratamiento adecuado se mantendrá en los niveles deseados. En la figura 6 se presenta la relación de DQO/DBO, la cual indica una relación de biodegradabilidad. Esta relación se mantiene en los parámetros deseados, por lo cual no es necesario realizar ningún tratamiento químico para ajustarla.

En las figuras 7 y 8 se presentan los resultados de análisis de fosfatos y nitratos, respectivamente. Estos parámetros parecieran tener un comportamiento inversamente proporcional, ya que al incrementar los fosfatos disminuyen los nitratos, y viceversa. Sin embargo, es notable que todas las muestras se encuentran por encima de los límites máximos permitidos. La cantidad alta de fosfatos y nitratos se debe a posibles excreciones humanas o de animales que llegan a los desechos líquidos previos al alcantarillado. También el taller utiliza detergente para su limpieza general y jabones para el lavado de todos los carros. Es necesario un tratamiento para la disminución de su concentración en las descargas de los efluentes al alcantarillado.

En la figura 9 se presentan los resultados de análisis del potencial de hidrógeno. Como era de esperarse, este parámetro se mantiene muy estable, en un rango muy cercano a 7; por lo tanto respecto a la acidez o alcalinidad del agua no hay que efectuar ningún tratamiento.

En la figura 10 se presentan finalmente los resultados de los análisis de coliformes fecales. Esta gráfica presenta valores muy por encima de los permitidos por el reglamento y es indispensable realizar algún tratamiento para disminuir la magnitud de este parámetro biológico. Es extraño observar altos índices de este parámetro en desechos industriales, pero la causa puede ser debida a la presencia de animales domésticos dentro del taller que viven allí.

El análisis de los parámetros anteriormente expuestos determina que es indispensable realizar un tren de tratamiento previo al desecho de los efluentes líquidos finales al alcantarillado público provenientes del taller.

Como se observa en la figura 11, se plantea un tren de tratamiento en 3 etapas. En el tratamiento primario se propone un sedimentador digestor, con el

cual se pretende reducir los sólidos en suspensión, los elementos patógenos y la DBO. Además, se pretende eliminar el fósforo existente por medios químicos agregando una solución de cal o de cloruro férrico para precipitar los fosfatos, quedando sedimentados en los lodos de este tratamiento.

Para el tratamiento secundario se propone un biodigestor autolimpiable debido al caudal bajo y por ser una empresa pequeña no es necesario un equipo de alta capacidad. Este biodigestor es una fosa séptica que utiliza un proceso anaerobio, separando los líquidos de las grasas. Además, ayuda a seguir sedimentando sólidos en suspensión remanentes y a descomponer la materia orgánica. El taller cuenta además con una fosa séptica propiamente para el desecho de las grasas y aceites. Como se observa en las fotos 1, 2 y 3 del apéndice 5, cuentan con un área específica para este tipo de trabajos.

Por último, se propone un tratamiento terciario con una resina de intercambio iónico débil con zeolita clinoptilolita. La clinoptilolita es un aluminosilicato alcalino hidratado que tiene las propiedades de un tamiz molecular que extrae selectivamente el nitrógeno. Su retrolavado se realiza con soluciones de sodio al 2 %. Al finalizar esta última etapa el efluente deberá cumplir con los límites máximos permitidos y podrá ser vertido en el alcantarillado público.

Es importante indicar que el mejor tratamiento que puede darse es la reducción de los residuos. Esto se logra evaluando los puntos donde se generan los residuos, analizando acciones que minimicen estos. Además, con base en los parámetros se debe considerar que en los puntos donde no se puedan minimizar los residuos, pueden existir alternativas de desechos que no conlleven a su disposición final en el alcantarillado público.

Con estos datos se realizó un plan de gestión con el que se pretende fundamentar las bases para que sobre este informe se pueda implementar el tren de tratamiento propuesto, diseñar los equipos y reducir los parámetros analizados para cumplir con los límites máximos permitidos, establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

El plan de gestión estará fundamentado en los análisis de los resultados de las muestras tomadas. Pero se recomienda que previo a tomar en cuenta el tren de tratamiento propuesto, se implementen las medidas de reducción de residuos y de alternativas de desecho, que se haga un análisis de la calidad del agua previo a su desecho y evaluar si es necesaria la implementación de la planta de tratamiento propuesta.

CONCLUSIONES

1. El caudal de las aguas residuales totales presenta cargas de DBO diarias permitidas en el modelo de reducción progresivo del artículo 17 del Reglamento para la cuarta etapa.
2. La calidad de los efluentes finales previo a su descarga en el alcantarillado, no cumple con la cuarta etapa del artículo 28 del Reglamento.
3. Se determinó que los parámetros críticos: sólidos suspendidos, fosfatos, nitratos y coliformes fecales, necesitan un tratamiento inmediato para cumplir con la cuarta etapa del artículo 28 del Reglamento.
4. El plan de gestión de las aguas residuales necesita de al menos 3 etapas de tratamiento para su disposición final, en cumplimiento con las normas ambientales establecidas en el Reglamento.

RECOMENDACIONES

1. Implementar las medidas de reducción de residuos y de alternativas de desecho lo antes posible.
2. Realizar nuevos análisis de la calidad del agua, en el mismo punto de muestra de este informe, en diferentes fechas, a fin de evaluar el cambio en los parámetros en función del tiempo.
3. Realizar un análisis de costos para la selección de los equipos y materiales adecuados para la implementación del sistema de tratamiento.
4. Realizar un análisis de la calidad del agua de los efluentes finales ya tratados dos veces al año, para verificar que el tren de tratamiento esté cumpliendo con su objetivo, según lo establece el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

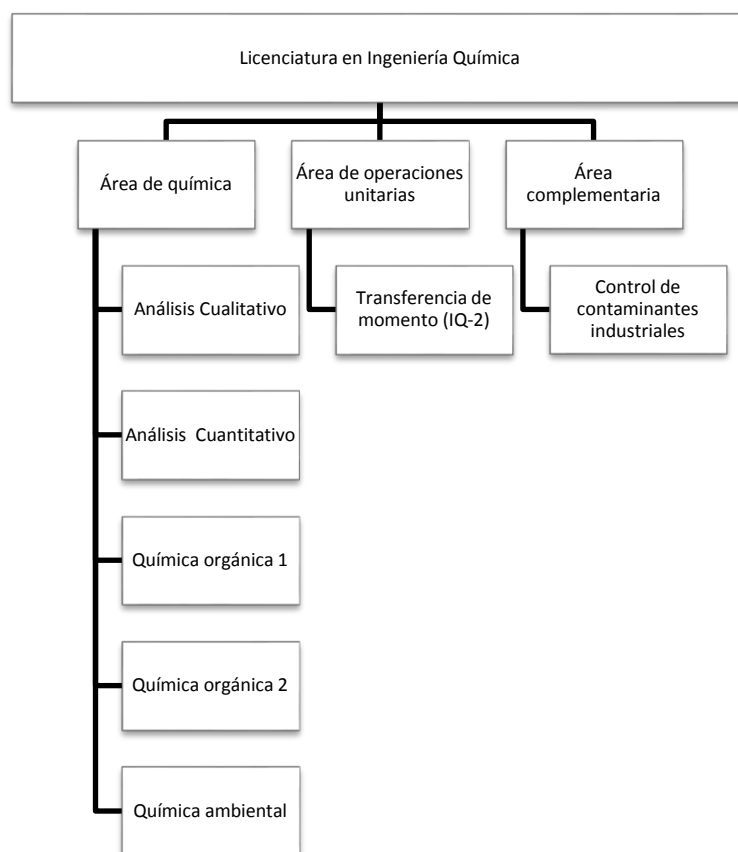
BIBLIOGRAFÍA

1. American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. 21a ed. Washington, APHA, 2005. 1285 p.
2. FAIR, Gordon M.; GEYER, John C.; OKUN, Daniel A. *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Volumen I. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales*. México: Limusa, 1973. 765 p.
3. FAIR, Gordon M.; GEYER, John C.; OKUN, Daniel A. *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México: Limusa, 1973. 765 p. Vol. II.
4. FERRER POLO, José; SECO TORRECILLAS, Aurora. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. México: Alfaomega Grupo Editor, 2008. 188 p. ISBN: 978-970-15-1423-8.
5. JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. 11a ed. México: Cenage Learning, 2012. 809 p.
6. Ministerio de Ambiente de Uruguay. *Manual de Procedimientos Analíticos para muestras ambientales del Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y Ambiente de Uruguay*. Uruguay, 2005. 135 p.

7. METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. México: McGraw-Hill, 1996. 752 p. Tomo I.
8. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006*. Guatemala, 2006. 24 p.
9. SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Colombia: Universidad de Medellín, 2011. 457 p. ISBN: 9789588692067.
10. WARPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8a ed. México: Prentice Hall, 2007. 840 p.

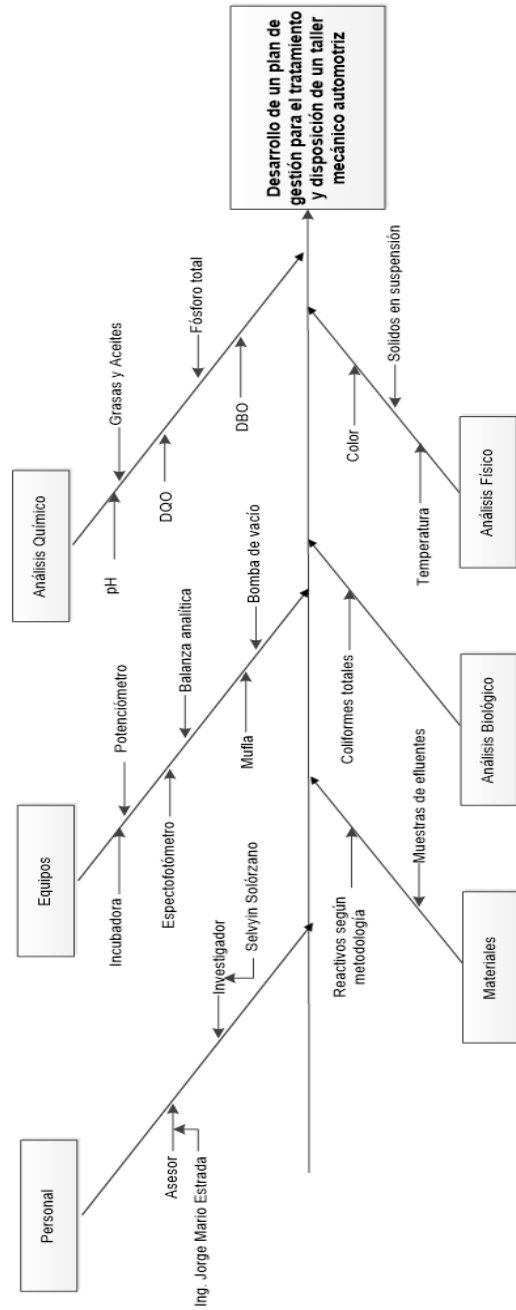
APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de causa y efecto



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Fotografías

Foto 1. Trabajo de vehículos por la parte inferior



Foto 2. Descarga de líquidos a fosa séptica



Foto 3. Aceites descargándose en fosa



Foto 4. Pila y chorro de donde toman el agua



Foto 5 y 6. Lugar final de desechos previo a alcantarillado



Foto 7. Recipientes utilizados para la toma de muestras



Fuente: Taller mecánico y automotriz Autoservicio Alvarez Calzada Roosevelt.

Apéndice 4. **Plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz**

IDENTIFICACIÓN DEL ENTE GENERADOR

El taller mecánico automotriz al cual se le realizará el estudio de los efluentes finales cuenta con los servicios de inyección electrónica, diagnóstico computarizado, mecánica general, enderezado y pintura, venta de repuestos, accesorios y electrónicos.

Dentro de este ámbito el uso del agua y aceites es fundamental para varios servicios, por eso es necesario el análisis de los efluentes finales, ya que una cantidad considerable de los residuos líquidos arrastran diferentes sustancias que son contaminantes y pueden causar impactos en el ambiente.

| |
|---|
| Nombre, razón o denominación social: AUTOSERVICIO ALVAREZ |
| Nombre comercial : AUTOSERVICIO ALVAREZ |
| Dirección: Calzada Roosevelt y 34 Avenida 0-50, zona 7 Col. Toledo Guatemala |
| Telefax: 2439-4154 2269-6546 |
| Correo electrónico: autoalvarez@gmail.com |
| Gerente General: Ángel René Alvarez Alvarez |
| Teléfono: 5308-0305 |

A INTRODUCCIÓN

La cuestión compleja frente al ingeniero de diseño y funcionarios de salud pública son los niveles de tratamiento que se deben lograr en una determinada aplicación para asegurar la protección de la salud pública y el medio ambiente.

En la actualidad el control de efluentes de aguas residuales, así como el tratamiento de aguas duras, es un problema que enfrentan la mayoría de las industrias que involucran procesos de manufactura en el país. Estos problemas suelen ser tratados con métodos que involucran una elevada inversión económica y un alto consumo energético. Pero no para todos los procesos se requiere de una alta inversión, todo depende de los resultados obtenidos en el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para procesos industriales grandes es indispensable una planta de tratamiento. La capacidad de una planta de tratamiento se expresa entre otros indicadores principalmente por la cantidad de materia orgánica que puede remover, por tanto en el diseño se requiere tener en cuenta tanto el caudal como la concentración de esta materia orgánica, expresados en litros o metros cúbicos por segundo y en miligramos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) por litro, respectivamente. Bajo estos criterios, se hace el presente análisis comparando la concentración de DBO5 que actualmente reciben las plantas versus la que fuera considerada para sus diseños.

En seguimiento al Decreto 68-86 del Congreso de la República a la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, fueron adquiridos los compromisos para la implementación del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, según Acuerdo Gubernativo

núm. 236-2006. El propósito de este reglamento es ser un instrumento normativo que brinde certeza jurídica y favorezca el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas residuales.

El presente plan de gestión se implementa como instrumento de seguimiento y mejora continua, citando las estrategias a seguir, en la gestión de las aguas y será un documento interno que plasme los planes y objetivos que faciliten el cumplimiento de los compromisos requeridos en el Reglamento.

B. OBJETIVOS DEL PLAN DE GESTIÓN

1. Determinar el caudal de las aguas residuales totales en el taller mecánico automotriz.
2. Analizar la calidad del agua residual previa a la descarga en el alcantarillado para el taller mecánico automotriz.
3. Comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los efluentes finales con la cuarta etapa del artículo 28 del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, según Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. Determinar las posibles mejoras a las actividades diarias dentro del taller mecánico automotriz que pueda ser de beneficio para el recurso hídrico.

C. METODOLOGÍA UTILIZADA

1. Determinación de la estructura operacional del taller.
2. Recopilación de información de actividades, recursos y programas en desarrollo.
3. Captura y análisis de muestras de las descargas.
4. Comparación de situación actual con los objetivos trazados en el reglamento.
5. Determinación del cumplimiento de los planes del plan de gestión, en concordancia con los plazos otorgados por el reglamento.

D. VIGENCIA

La vigencia del presente plan de gestión es de 2 años, a partir de su fecha de emisión: agosto 2015. Podrá ser sujeto de revisiones. Al vencimiento de la vigencia, el taller mecánico automotriz deberá, a través de los profesionales responsables, actualizar el plan de gestión.

E. MARCO LEGAL

E.1. *Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo Núm. 236-2006)*

“La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

E.2. Objetivo del reglamento

El Reglamento en conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente tiene por objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos.

Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita lo siguiente:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

Además, el Reglamento establece los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

E.3. Aplicación del reglamento

Este Reglamento debe aplicarse a:

- Los entes generadores de aguas residuales;
- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;
- Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales; y
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

E.4. Caracterización

Respecto de la caracterización, en el capítulo IV de este reglamento se establece que:

- La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico (artículo 13).
- La persona individual o jurídica, pública o privada, que genere aguas residuales para reuso o las reúse, deberá realizar la caracterización de las aguas que genere y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico (artículo 14).

- La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico (artículo 15).

E.5 Parámetros de medición

En el artículo 16 se establecen los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales. Estos son:

- Temperatura
- Potencial de Hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20 °C
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

E.6. Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO

Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la DBO de las aguas residuales que descargan al alcantarillado público, conforme a los valores y etapas de cumplimiento de la siguiente tabla:

Apéndice 4a. Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO

| Etapa | Uno | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil once | | | | |
| Duración en años | 5 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3 000≤EG<6 000 | 6 000≤EG<12 000 | 12 000≤EG<25000 | 25 000≤EG<5 0000 | 5 0000≤EG<25 0000 |
| Reducción Porcentual | 10 | 20 | 30 | 35 | 50 |
| Etapa | Dos | | | | |
| Duración en años | 4 | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil quince | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3 000≤EG<5 500 | 5 500≤EG<10 000 | 10 000≤EG<30 000 | 30 000≤EG<50 000 | 50 000≤EG<125 000 |
| Reducción Porcentual | 10 | 20 | 40 | 45 | 50 |
| Etapa | Tres | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinte | | | | |
| Duración en años | 5 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3 000≤EG<5 000 | | 5 000≤EG<10 000 | 10 000≤EG<30 000 | 30 000≤EG<65 000 |
| Reducción porcentual | 50 | | 70 | 85 | 90 |
| Etapa | Cuatro | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinticuatro | | | | |
| Duración en años | 4 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3 000<EG<4 000 | | | 4 000≤EG<7 000 | |
| Reducción porcentual | 40 | | | 60 | |

Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Artículo 17. p.8.

E.7. Determinación de la demanda química de oxígeno

Dos de estos parámetros requieren de mucha atención y son muy importantes para el estudio. Debido a esto, se establece en el Reglamento que en el Estudio Técnico realizado se debe de incluir la razón entre la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno (artículo 18).

E.8 Meta de cumplimiento

La meta de cumplimiento (artículo 19), al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en 3 000 kg/día de DBO, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que 200 mg/L de DBO. Los entes generadores existentes que alcance y mantenga éstos valores habrán cumplido con la meta establecida y con el modelo de reducción progresiva de cargas.

Los entes generadores existentes que registren cargas menores o iguales a 3 000 kg/día de DBO, pero que registren valores mayores a 200 mg/L en el parámetro de calidad asociado, procederán a efectuar la reducción del valor de dicho parámetro de conformidad con los porcentajes correspondientes a la primera columna del lado izquierdo correspondiente a los rangos, en el modelo de reducción progresiva de cargas.

Los entes generadores existentes de aguas residuales de tipo especial y ordinario que después de tratar dichas aguas, y que en cualesquiera de las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas alcancen y mantengan valores en el parámetro de calidad asociado, iguales o menores que 100 mg/L en la DBO, podrán realizar descargas mayores a 3 000 kg/día de DBO.

E.9. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público

Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:⁸

Apéndice 4b Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público

| | | Fecha máxima de cumplimiento | | | | |
|------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | | Dos de mayo de dos mil once | Dos de mayo de dos mil quince | Dos de mayo de dos mil veinte | Dos de mayo de dos mil veinticuatro | |
| | | Etapa | | | | |
| Parámetros | Dimensionales | Valores iniciales | Uno | Dos | Tres | Cuatro |
| Temperatura | Grados Celsius | < 40 | < 40 | < 40 | < 40 | < 40 |
| Grasas y aceites | Miligramos por litro | 1 500 | 200 | 100 | 60 | 60 |
| Materia flotante | Ausencia/presencia | Presente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| Sólidos suspendidos | Miligramos por litro | 3500 | 1500 | 700 | 400 | 200 |
| Nitrógeno total | Miligramos por litro | 1400 | 180 | 150 | 80 | 40 |
| Fósforo total | Miligramos por litro | 700 | 75 | 40 | 20 | 10 |
| Potencial de hidrógeno | Unidades depotencial de hidrógeno | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 |
| Coliformes fecales | Número más probable en cien mililitros | < 1x10 ⁰ | < 1x10 ⁰ | < 1x10 ⁰ | < 1x10 ⁴ | < 1x10 ⁴ |
| Arsénico | Miligramos por litro | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Cianuro total | Miligramos por litro | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Cobre | Miligramos por litro | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Cromo hexavalente | Miligramos por litro | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Mercurio | Miligramos por litro | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Níquel | Miligramos por litro | 6 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Plomo | Miligramos por litro | 4 | 1 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Zinc | Miligramos por litro | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Color | Unidades platino Cobalto | 1 500 | 1 300 | 1 000 | 750 | 500 |

Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Artículo 28. p.12.

⁸ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Reglamento de las Descargas y Reuso de las Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006. p.9.*

F. IDENTIFICACIÓN DEL ENTE GENERADOR

F.1. Generalidades

El taller mecánico automotriz al cual se le realizará el estudio de los efluentes finales cuenta con los servicios de inyección electrónica, diagnóstico computarizado, mecánica general, enderezado y pintura, venta de repuestos, accesorios y electrónicos.

Dentro de este ámbito el uso del agua y aceites es fundamental para varios servicios, por eso es necesario el análisis de los efluentes finales, ya que una cantidad considerable de los residuos líquidos arrastran diferentes sustancias que son contaminantes y pueden causar impactos en el ambiente.

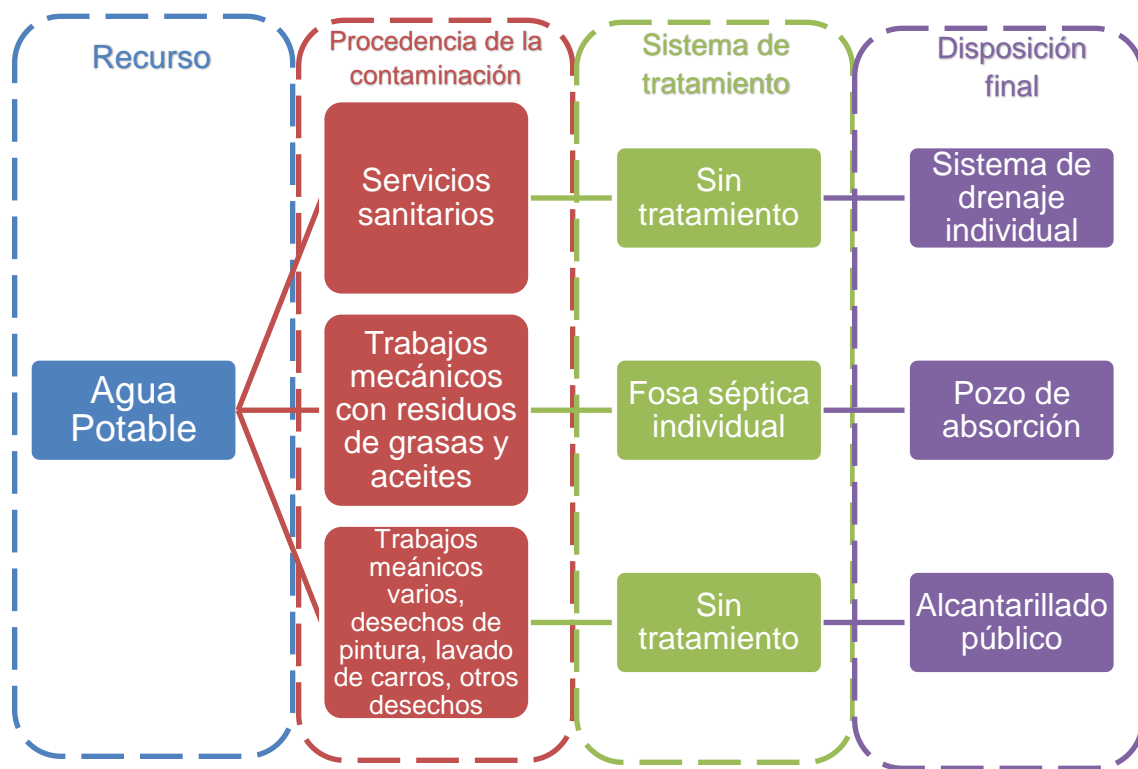
| |
|---|
| Nombre, razón o denominación social: AUTOSERVICIO ALVAREZ |
| Nombre comercial : AUTOSERVICIO ALVAREZ |
| Dirección: Calzada Roosevelt y 34 Avenida 0-50, zona 7 Col. Toledo Guatemala |
| Telefax: 2439-4154 2269-6546 |
| Correo electrónico: autoalvarez@gmail.com |
| Gerente General: Ángel René Alvarez Alvarez |
| Teléfono: 5308-0305 |

F.2. Identificación de procesos

Dentro del taller se realizan las siguientes actividades

- Inyección electrónica
- Diagnóstico computarizado
- Mecánica general
- Enderezado y pintura
- Venta de repuestos, accesorios y electrónicos
- Lavado de carros
- Servicios sanitarios

Apéndice 4c. Uso de recurso hídrico



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4d.

Fotografías del lugar

Foto 1. Trabajo de vehículos por la parte inferior



Foto 2. Descarga de líquidos a fosa séptica



Foto 3. Aceites descargándose en fosa



Foto 4. Pila y chorro de donde toman el agua



Foto 5 y 6. Lugar final de desechos previo a alcantarillado



Fuente: Taller Mecánico y Automotriz Autoservicio Alvarez Calzada Roosevelt.

G. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de las muestras tomadas en el taller mecánico y automotriz.

Apéndice 4e. Comparación de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las muestras tomadas con los límites máximos permitidos del Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006

| Parámetro | Unidades | 08 / 04 /2015 | 15 / 04 / 2015 | 21 / 04 /2015 | 29 / 04 /2015 | 06 / 05 /2015 | Límites máximos permitidos |
|---------------------------------|--------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------------------|
| Características físicas | | | | | | | |
| Olor | - | Lig. séptico | Lig. séptico | Séptico | Séptico | Materia orgánica | - |
| Color | Unidades de PtCo | 83,50 | 425,00 | 862,50 | 1500,00 | 470,00 | 500,00 |
| Sólidos sedimentables | cm ³ /L | 1,50 | 1,00 | 2,00 | 0,20 | 2,50 | - |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 240,00 | 266,00 | 520,00 | 15,00 | 850,00 | 200,00 |
| Características químicas | | | | | | | |
| DBO | mg/L | 110,00 | 763,00 | 165,00 | 163,00 | 75,00 | 200,00 |
| DQO | mg/L | 243,00 | 1276,00 | 387,00 | 264,00 | 171,00 | - |
| DQO/DBO | - | 2,21 | 1,67 | 2,35 | 1,62 | 2,28 | 1,7 a 2,4 |
| Fosfatos | mg/L | 194,00 | 38,00 | 21,00 | 175,00 | 55,00 | 10,00 |
| Nitratos | mg/L | 80,00 | 320,00 | 686,00 | 572,00 | 88,00 | 40,00 |
| pH | - | 7,09 | 7,36 | 7,50 | 7,20 | 7,20 | 6 a 9 |
| Examen bacteriológico | | | | | | | |
| Aspecto | - | Turbio | Turbio | Turbio | Turbio | Turbio | |
| Coliformes totales | NMP en 100 mL | >16E7 | >16E7 | >16E7 | >24E7 | >16E6 | - |
| Coliformes fecales 44.5°C | NMP en 100 mL | 8E5 | >16E7 | 8E5 | 4E5 | 4E4 | < 1x10 ⁴ |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4f. **Caudal y cargas de DBO**

| | | |
|------------------|---------------------|------------|
| Caudal | 900,0000 | L/dia |
| Carga de DBO min | 0,0675 | kg DBO/dia |
| Carga de DBO máx | 0,6867 | kg DBO/dia |
| Carga permitida | 3 000 < DBO < 4 000 | kg DBO/dia |

Fuente: elaboración propia.

H. PLAN DE GESTIÓN

Después de la evaluación y análisis de las aguas descargadas al alcantarillado y de las actividades que las generan, se establece el siguiente como el Plan de Gestión de las Aguas Residuales y los Lodos del taller mecánico automotriz:

Apéndice 4g. Plan de gestión de las aguas residuales

| PROCESO | OBJETIVO | ACTIVIDAD | FECHA DE IMPLEMENTACIÓN |
|-------------------|--|--|-------------------------|
| Desarrollo social | Implementar un programa de gestión | Definir el listado de actividades necesarias para ejecutar el plan de gestión de agua residual. | Permanente |
| | Analizar el impacto en el recurso hídrico de nuevos procesos implementados | Adjuntar a este plan de gestión la documentación referente a las variaciones en las actividades del taller y evaluar las acciones a tomar. | |
| | Implementar un programa de comunicación | Programa de comunicación para el desarrollo de conciencia en los operarios para el aprovechamiento del recurso hídrico. | |

Continuación de apéndice 7g.

| | | | |
|---|--|---|-----------|
| Caudal | Optimizar la utilización del recurso hídrico | Revisión periódica de las instalaciones para detectar fugas. | Mensual |
| | | Verificación del caudal | Mensual |
| Programa de muestreo y análisis | Implementación según requerimientos del reglamento | Toma de muestras y análisis de los efluentes finales | Semestral |
| | Definir estrategias a seguir con los parámetros fuera de norma | Color y sólidos totales: Reducir las posibles fuentes de emisión de estos residuos, y de ser necesario evaluar alternativas para la disminución de este parámetro. | 2015 |
| | | Nitratos y fosfatos: Reducir las posibles fuentes de emisión de estos residuos, y de ser necesario evaluar alternativas para la eliminación de estos parámetros para poder cumplir con el reglamento. | |
| Coliformes fecales: Reducir las posibles fuentes de emisión de estos desechos, y de ser necesario aplicar un tratamiento terciario de desinfección aplicando cloro. | | | |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4h. **Plan de gestión de los lodos**

| PROCESO | OBJETIVO | ACTIVIDAD | FECHA DE IMPLEMENTACIÓN |
|----------------------|---|--|--------------------------------|
| Disposición de lodos | Reducir el impacto ambiental de los lodos generados | Retiro de lodos por medio de personal capacitado. | Anual |
| | | Llevar un registro de descarga de lodos residuales, incluyendo volumen y frecuencia de extracción. | Anual |
| | | Evaluar alternativas de disposición dado el bajo nivel de contaminantes | 2015 |

Fuente: elaboración propia.

I. PLAN DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

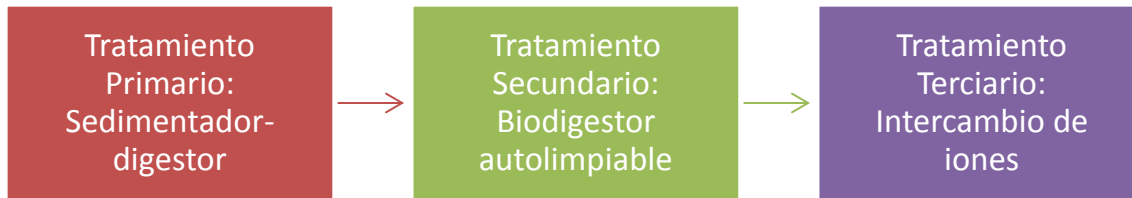
El objetivo del tratamiento de las aguas residuales, es cumplir con el límite máximo permisible establecido en el reglamento para la descarga de agua y contribuir a la conservación del recurso hídrico.

Sin embargo, es importante considerar previo al planteamiento de una planta de tratamiento, una serie de medidas que pueden reducir de forma significativa los parámetros analizados físicos, químicos y biológicos en los efluentes.

I.1. Acciones previas recomendadas

- Restringir un área específica para los animales domésticos que se tienen, para que sus necesidades (específicamente sus heces) no sean dispuestas en el canal que da en el alcantarillado.
- Hacer conciencia en los operarios que sus necesidades las deben de realizar en los sanitarios, pues para esos desechos existe una planta de tratamiento pública.
- Respecto al departamento de enderezado y pintura se recomienda que los sólidos que serán desechados sean recogidos y dispuestos en algún contenedor de desechos sólidos, ya que su impacto en las aguas residuales es alto.
- Evitar que cualquier tipo de residuo sólido que pueda ser depositado en botes de basura sea eliminado en el alcantarillado público.

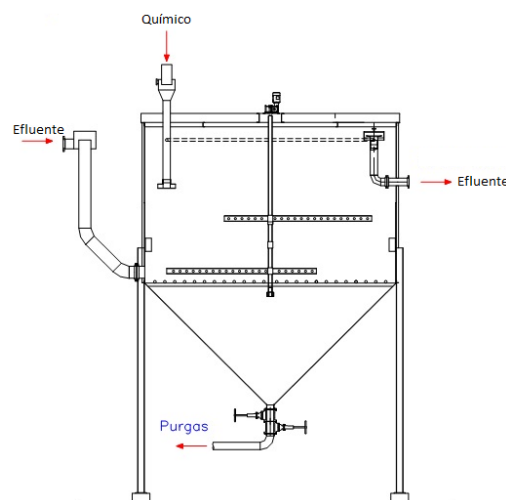
Apéndice 4i. Tren de tratamiento propuesto



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en el diagrama anterior se plantea un tren de tratamiento en 3 etapas. En el tratamiento primario se propone un sedimentador-digestor, con el cual se pretende reducir los sólidos en suspensión, los elementos patógenos y la DBO (ver figura I.1.). Además se pretende eliminar el fósforo existente por medios químicos agregando una solución de cal o de cloruro férrico para precipitar los fosfatos, quedando sedimentados en los lodos de este tratamiento.

Figura I.1. Sedimentador-digestor



Fuente: elaboración propia.

Para el tratamiento secundario se propone un biodigestor autolimpiable debido al caudal bajo y ser una empresa pequeña no es necesario un equipo de alta capacidad. Este biodigestor es una fosa séptica que utiliza un proceso anaerobio, separando los líquidos de las grasas. Además, ayuda a seguir sedimentando sólidos en suspensión remanentes y ayuda a descomponer la materia orgánica (ver figura I.2.).

El taller cuenta además con una fosa séptica propiamente para el desecho de las grasas y aceites. Como se observa en las fotos 1, 2 y 3 de la sección de fotografía, cuentan con un área específica para este tipo de trabajos.

Figura I.2. **Biodigestor**



Fuente: *Rotoplas*. <http://www.rotoplas.com/productos/saneamiento/biodigestor-autolimpiable/>

Por último, se propone un tratamiento terciario con una resina de intercambio iónico débil con zeolita clinoptilolita (Ver Figura I.3.). La clinoptilolita es un aluminosilicato alcalino hidratado que tiene las propiedades de un tamiz molecular que extrae selectivamente el nitrógeno. Su retrolavado se realiza con soluciones de sodio al 2 %. Al finalizar esta última etapa el efluente deberá cumplir con los límites máximos permitidos y podrá ser vertido en el alcantarillado público.

Figura I.3. **Zeolita clinoptilolita**



Fuente: *Merca Libro*. http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-509629224-zeolita-clinoptilolita-purifica-y-suaviza-el-agua-de-tu-casa-_JM.

Es importante indicar que el mejor tratamiento que puede darse es la reducción de los residuos. Esto se puede lograr evaluando los puntos donde se generan los residuos, analizando acciones que minimicen estos. Además, con base en los parámetros se debe de considerar que en los puntos donde no se puedan minimizar los residuos, pueden existir alternativas de desechos que no conlleven a su disposición final en el alcantarillado público.

El plan de gestión estará fundamentado en los análisis de los resultados de las muestras tomadas. Pero se recomienda que previo a tomar en cuenta el tren de tratamiento propuesto, se implementen las medidas de reducción de residuos y de alternativas de desecho. Luego se debe realizar un análisis de la calidad del agua previo a su desecho y evaluar si es necesaria la implementación de la planta de tratamiento propuesta.

ANEXOS

Anexo 1. Reporte de caudal y datos del taller

**AUTO SERVICIO
ALVAREZ**
Calle 40, C. Ed. Zona 7 de la ciudad
Calle 40, Zona 7 de la ciudad
Calle 40, Zona 7 de la ciudad
Teléfono: 2429-4154 • 2429-8548
E-Mail: autoservicio@gmail.com

INFORME DE CAUDAL

El día 07 de julio del 2015 Selvin Aldair Solórzano Flores realizó la medición de caudal obteniendo el siguiente resultado:

| Parámetro | Unidades | Magnitud |
|-----------|----------|----------|
| Caudal | L/día | 900 |


Angel Alvarez
Gerente, General

AUTO SERVICIO ALVAREZ
CALZADA ROOSEVELT Y 24 AV
0-60, ZONA 7 TEL. 2429-4154

ESPECIALIDAD EN VEHÍCULOS AMERICANOS Y JAPONESES - INYECCIÓN ELECTRÓNICA - DIAGNÓSTICO COMPUTARIZADO
MECÁNICA GENERAL - ENDEZADO Y PINTURA - VENTA DE REPUESTOS - ACCESORIOS - LUBRICANTES

Fuente: Taller mecánico y automotriz Autoservicio Alvarez.

Anexo 2. **Resultados de los análisis químico físico de aguas residuales de origen doméstico y/o desechos industriales y examen bacteriológico**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO Y/O DESECHOS INDUSTRIALES **No. 4069**

Orden de trabajo No.: 34 639 Informe No. 2 143

| | | | |
|----------------------|--|--|--|
| INTERESADO: | SELVYN ALDAR SOLORZANO FLORES CARNÉ No. 201114283 | PROYECTO: | Trabajo de graduación: "Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz" |
| MUESTRA CAPTADA POR: | Interesado | DEPENDENCIA: | FACULTAD DE INGENIERIA USAC |
| MUESTRA CAPTADA EN: | Taller mecánico automotriz Alvarez Calzada Roosevelt 34 Av. 0-50, zona 7 Cel. Toledo | FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: | 2015-04-07, 09:00 A 15:00 hrs. (compuesta) |
| FUENTE: | Residuos líquidos finales auto-servicio (previo alcantarillado) | | |
| MUNICIPIO: | Mixco | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO | 2015-04-08, 08 h 25 min |
| DEPARTAMENTO: | Guatemala | CONDICIONES DE TRANSPORTE: | Sin refrigeración |

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

| | |
|------------------------------|--|
| OLOR: <u>Lig. Sepsico</u> | SÓLIDOS SEDIMENTABLES: <u>01.50</u> cm ³ /litro en 1 hora |
| COLOR: <u>83.50</u> unidades | SÓLIDOS SUSPENDIDOS: <u>290.00</u> mg/L |

DETERMINACIONES QUÍMICAS

| | | |
|--|-----------------------|------|
| DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O. ₅): | <u>110.00</u> | mg/L |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O. ₅): | <u>243.000</u> | mg/L |
| POSFATOS: | <u>194.00</u> mg/L | mg/L |
| POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): | <u>07.09</u> unidades | mg/L |
| NITRATOS: | <u>80.00</u> | mg/L |

OTRAS DETERMINACIONES: _____

TECNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - INVESTIGACIONES DE INGENIERIA USAC - NORMA COGUA NOR-NGO 4 010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Guatemala, 2015-04-20




Yo Do:
Inga Teina Maricela Cano Morales
DIRECTORA CIUSA




Zorón Much Santés
Ing. Químico Col. No. 42
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 8509 y 8021 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**




No. 4088

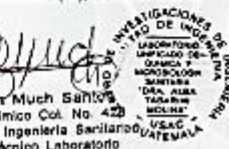
| EXAMEN BACTERIOLOGICO | | INF. No. A - 359701 |
|--|--|---------------------|
| O.T. No. 34 639 | | |
| INTERESADO: SELVYN ALDAR SOLORZANO FLORES, CARNE No. 201114283 | PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de un plan de acción para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecanico automotriz" | |
| MUESTRA RECOLECTADA POR: Interesado | DEPENDENCIA: FACULTAD DE INGENIERIA USAC | |
| LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: Taller mecanico automotriz, Alvarco, Calzada Roosevelt, 34 Av. 0-50, zona 2, Col. Tejedo | FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2015-04-07, 08:00 a 15:00 hrs. (compartido) | |
| FUENTE: Residuos líquidos fríos automotriz (resaca abastecimiento) | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2015-04-08, 08:325 hrs. | |
| MUNICIPIO: Mixco | CONDICIONES DE TRANSPORTE: Sin refrigeración | |
| DEPARTAMENTO: Guatemala | | |
| SABOR: ---- | SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN: Res. cantidad | |
| ASPECTO: Turbio | CLORO RESIDUAL: ---- | |
| OLOR: Lig. Séptico | | |

INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)

| PRUEBAS NORMALES | PRUEBA PRESUNTIVA | PRUEBA CONFIRMATIVA | |
|--|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | | FORMACION DE GAS | |
| CANTIDAD SEMBRADA | FORMACION DE GAS - 35°C | TOTAL | FECAL 44.5 °C |
| 0.0001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| 0.00001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| 0.000001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100cm ³ | | >16 x 10 ⁷ | 8 x 10 ⁷ |

Guatemala, 2015-04-20

Vu.Bo. 
Inga. Telma Marchetti Cano Mornies
 DIRECTORA USAC



Zabón Much Santos
 Ing. Químico Col. No. 429
 MSc. en Ingeniería Sanitaria USAC
 Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8030 Exts. 86218 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: http://ci.usac.edu.gt

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO Y/O DESECHOS INDUSTRIALES **No. 4073**

Orden de trabajo No.: **34 639**

Informe No.: **3144**

| | | | |
|---------------------|--|---|---|
| INTERESADO | SELVEN ALDAR SOLORZANO FLORES CARNÉ No. 201114283 | PROYECTO | Trabajo de graduación: "Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz." |
| MUESTRA CAPTADA POR | Interesado | DEPENDENCIA: | FACULTAD DE INGENIERÍA /USAC |
| MUESTRA CAPTADA EN: | Autoservicio Alvarez Calzada Roosevelt y 34 Av. 0-50, zona 7 Col. Toledo | FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA | 2015-04-14, 09:00 A 15:00hs (compuesta) |
| FUENTE: | Residuos líquidos finales (previo almacenado) | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: | 2015-04-15, 08 h 15 min. |
| MUNICIPIO | Misca | CONDICIONES DE TRANSPORTE: | Con refrigeración |
| DEPARTAMENTO: | Guatemala | | |

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

| | | | |
|---------|-----------------|----------------------|--|
| OLOR: | Lig. Sético | SÓLIDOS SEMISOLIDOS: | 01,00 cm ³ /cm ³ en 1 hora |
| COLORE: | 425,00 unidades | SÓLIDOS SUSPENSIVOS: | 260,00 mg/l |

DETERMINACIONES QUÍMICAS

| | | | |
|--|----------|----------|----------------------|
| DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO (D B O ₅) | 365,00 | mg/l | |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D Q O ₁) | 1276,000 | mg/l | |
| FOSFATOS | 38,00 | mg/l | NITRATOS 520,00 mg/l |
| POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): | 07,35 | unidades | |

OTRAS DETERMINACIONES: _____

TÉCNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA APHA - A.W.W.A. - WEF 21^{ra} EDICIÓN 2005. NORMA COLOMBIANA ISO 4000 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Guatemala, 2015-04-27

Vs. Bto.



Inga Tetzra Maricela Cazo Morales
DIRECTORA CIQSAC



Zénon Much Sator
Ing. Químico Col. No. 0020
MSc. en Ingeniería Sanit@USAC
Jefe Técnico Laboratorio



FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Exts. 05205 y 36221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 4089

EXAMEN BACTERIOLOGICO

O.T. No. 34 639 INF. No. A - 359702

| | |
|--|---|
| <p>INTERESADO: <u>SELVYN ALDAR SOLÓRZANO FLORES, CAÑE</u> No. 201114281</p> <p>MUESTRA RECOLECTADA POR: <u>Inesales</u></p> <p>LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: <u>Autonómia Alvarez Calzada Boscón</u> <u>31 Av. 9-50 zona 7 Col. Totol</u></p> <p>FUENTE: <u>Residuos líquidos finales (proceso de abastecimiento)</u></p> <p>MUNICIPIO: <u>Misio</u></p> <p>DEPARTAMENTO: <u>Guatemala</u></p> | <p>PROYECTO: <u>Trabajo de graduación "Diseño de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz"</u></p> <p>DEPENDENCIA: <u>FACULTAD DE INGENIERIA USAC</u></p> <p>FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: <u>2015-04-24 09:00 A 12:00 hrs (completo)</u></p> <p>FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: <u>2015-04-25 08:32 min</u></p> <p>CONDICIONES DE TRANSPORTE: <u>Con refrigeración</u></p> |
| <p>SABOR: <u>----</u></p> <p>ASPECTO: <u>Turbio</u></p> <p>OLOR: <u>Lig. Séptico</u></p> | <p>SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN: <u>Gran cantidad</u></p> <p>COLOR RESIDUAL: <u>-----</u></p> |

INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENOS)

| PRUEBAS NORMALES | PRUEBA PRESUNTIVA | PRUEBA CONFIRMATIVA | |
|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | FORMACION DE GAS | |
| CANTIDAD SEMBRADA | FORMACION DE GAS - 35°C | TOTAL | FECAL 44.5 °C |
| 0,0001 cm ³ | +++++ | +++++ | +++++ |
| 0,00001 cm ³ | +++++ | +++++ | +++++ |
| 0,000001 cm ³ | +++++ | +++++ | +++++ |
| RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES/100cm ³ | | >16 x 10 ⁷ | >16 x 10 ⁷ |

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21TH NORMA COGUANOR NGO 4 010, SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

Guatemala, 2015-04-27

Vo.Bo.

Ings. Telma Maricela Casas Morales
DIRECTORA C/USAC



Zenón Much Santol
Ing. Químico Col. No. 420
USAC en Ingeniería Sanitaria
Info: Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio 3-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono direct: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO Y/O DESECHOS INDUSTRIALES No. **4074**

| | | | |
|------------------------------------|---|---|--|
| Orden de trabajo No. 34.639 | | Informe No. 2145 | |
| INTERESADO: | SILVYN ALDAR SOLÓRZANO FLORES CARNÉ No. 201114283 | PROYECTO: | Trabajo de graduación: "Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz" |
| MUESTRA CAPTADA POR: | Interesado | DEPENDENCIA: | FACULTAD DE INGENIERÍA-USAC |
| MUESTRA CAPTADA EN: | Autoservicio Alvarez, Calzada Roosevelt y 24 Av. 0-50, zona 7 Col. Tulecú | FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: | 2015-04-21; 09:00 A 15:00 hrs. (compuesta) |
| FUENTE: | Efluente líquidos finales | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: | 2015-04-22, 08 h 27 min |
| MUNICIPIO: | Mixco | CONDICIONES DE TRANSPORTE: | Sin refrigeración |
| DEPARTAMENTO: | Guatemala | | |

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

| | | | |
|--------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|
| OLOR: | Séptico | SÓLIDOS SEDIMENTABLES: | 02,00 cm ³ /lto en 1 hora |
| COLOR: | 862,50 unidades | SÓLIDOS SUSPENDIDOS: | 520,00 mg/L |

DETERMINACIONES QUÍMICAS

| | | | |
|--|---------|----------|----------------------|
| DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O ₅) | 165,00 | mg/L | |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O ₅) | 187,000 | mg/L | |
| FOSFATOS | 21,00 | mg/L | NITRATOS 686,00 mg/L |
| POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) | 07,50 | unidades | |

OTRAS DETERMINACIONES: _____

TÉCNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - W.E.F. 21ST EDITION 2005. NORMA COGUA NOR-NGO 4-000 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Guatemala, 2015-05-05

Vo Bo.

[Firma]

Inga. Tereza Maricela Casas Morales
DIRECTORA C/USAC

[Firma]

Zelón Much
Ing. Químico Col. No. 420
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono direct: 2418-9115. Planta: 2418-8060 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 4090

| EXAMEN BACTERIOLOGICO | |
|--|--|
| O.T. No. 34 639 | INF. No. A - 359703 |
| INTERESADO: <u>SELVYN ALDAR SOLOZANO FLORES, CARNE No. 201114283</u> | PROYECTO: <u>Trabajo de graduación "Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición final de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz"</u> |
| MUESTRA RECOLECTADA POR: <u>Interesado</u> | DEPENDENCIA: <u>FACULTAD DE INGENIERIA/USAC</u> |
| LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: <u>Autopista, Alvaroz, Calzada Basevich 34 Ar. 0-90, zona 7, Col. Tototo</u> | FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: <u>2015-04-21, 09:00 A 15:00 hrs. (compra)</u> |
| FUENTE: <u>Efluentes líquidos fríos</u> | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: <u>2015-04-22, 08:157 hrs.</u> |
| MUNICIPIO: <u>Mimo</u> | CONDICIONES DE TRANSPORTE: <u>Sin refrigeración</u> |
| DEPARTAMENTO: <u>Guatemala</u> | |
| SABOR: <u>----</u> | SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN: <u>Crisol cantidad</u> |
| ASPECTO: <u>Turbio</u> | CLORO RESIDUAL: <u>-----</u> |
| OLOR: <u>Septico</u> | |

INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENOS)

| PRUEBAS NORMALES | PRUEBA PRESUNTIVA | PRUEBA CONFIRMATIVA | |
|--|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | | FORMACION DE GAS | |
| CANTIDAD SEMBRADA | FORMACION DE GAS - 35°C | TOTAL | FECAL 44.5 °C |
| 0,0001 cm ³ | +++++ | +++++ | +++++ |
| 0,00001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| 0,000001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMESES COLIFORMES/100cm ³ | | >16 x 10 ⁷ | 8 x 10 ⁷ |

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21TM NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.


Guatemala, 2015-05-05

Vo.Bo. 
Inga. Telsa Mircela Cano Morales
 DIRECTORA CIZUSAC


Ingr. Químico Col. No. 428
MSc. en Ingeniería Sanitaria
 Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria Zona 12
 Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO Y/O DESECHOS INDUSTRIALES **No. 4091**

Orden de trabajo No.: **34639**

Informe No.: **2145**

| | | | |
|----------------------|--|---|--|
| INTERESADO: | SELVYN ALDAR SOLOZAN FLORES CARNÉ No. 201114283 | PROYECTO: | Trabajo de graduación: "Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz" |
| MUESTRA CAPTADA POR: | Interesado | DEPENDENCIA: | FACULTAD DE INGENIERIA /USAC |
| MUESTRA CAPTADA EN: | Autoservicio Alvarez Calzada Roosevelt y 54 Av. 9-50, zona 7 Col. Toledo | FECHA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA: | 2015-04-28, 09:00 A 13:00hs. (compuesta) |
| FUENTE: | Efluentes Líquidos finales (Proceso alcantarillado) | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: | 2015-04-29, 10 h 45 min. |
| MUNICIPIO: | Mixco | CONDICIONES DE TRANSPORTE: | Con refrigeración |
| DEPARTAMENTO: | Guatemala | | |

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

| | | | | |
|--------|-------------------|-----------------------|-------|--------------------|
| OLOR: | Sapido | SÓLIDOS SEMIMENTALES: | 00.20 | gr/litro en 1 hora |
| COLOR: | 1.900,00 unidades | SÓLIDOS SUSPENDIDOS: | 15,00 | mg/l. |

DETERMINACIONES QUÍMICAS


| | | | |
|---|---------|----------|-------|
| DEMANDA BIQUÍMICA DE OXIGENO (D B O ₅): | 167,00 | | mg/l. |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (D Q O ₂): | 264,000 | | mg/l. |
| FOSFATOS: | 175,00 | mg/l. | |
| POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): | 07,20 | unidades | |
| NITRATOS: | 272,00 | | mg/l. |

OTRAS DETERMINACIONES: _____

TÉCNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA APILA - AWWA - W.E.F. 21TH EDITION 2005. NORMA COGILANRNGO-4010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Guatemala, 2015-05-14


Vo.Bo.



Inga Telma Macosta Cajas Morales
DIRECTORA CI/USAC



Zenón Much Santos
Ing. Químico Col. No. 428
M.Sc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115. Planta: 2418-8000 Exts. 86009 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 4092

| O.T. No. 34 639 | | EXAMEN BACTERIOLOGICO | | INF. No. A - 359704 |
|-------------------------------------|--|---|---|--------------------------|
| INTERESADO | SELVYN ALDAR SOLÓRZANO FLORES, CARSE No. 201114243 | PROYECTO | Trabajo de graduación "Diseño de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz" | |
| MUESTRA RECOLECTADA POR | Interesado | DEPENDENCIA: | FACULTAD DE INGENIERIA USAC | |
| LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: | Anticuario - Alameda - Cabalá Boscaak y 24 Av. 9-30 zona 7 Cid Toluá | FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: | 2015-04-28 09:00 A 12:00 (en Guatemala) | |
| FUENTE: | Líquidos (residuos de taller mecánico) | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: | 2015-04-29 10:45 am | |
| MUNICIPIO | Mixco | CONDICIONES DE TRANSPORTE: | Con refrigeración | |
| DEPARTAMENTO | Guatemala | SABOR | ----- | SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN |
| ASPECTO | Turbio | ASPECTO | Turbio | CLORO RESIDUAL |
| OLOR | Septico | OLOR | Septico | |

INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENOS)

| PRUEBAS NORMALES | PRUEBA PRESUNTIVA | PRUEBA CONFIRMATIVA | |
|--|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | | FORMACION DE GAS | |
| CANTIDAD SEMBRADA | FORMACION DE GAS - 35°C | TOTAL | FECAL 44.5 °C |
| 0,0001 cm ³ | +++++ | +++++ | ++--- |
| 0,00001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| 0,000001 cm ³ | +++++ | +++++ | ----- |
| RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES/100cm ³ | | >24 x 10 ⁷ | 4 x 10 ⁷ |

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21TH NORMA COGUANOR NGO 4 010, SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

Guatemala, 2015-05-14

Vo.Bo. 
Inga Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA C/USAC



Zorlen Much Sábido
 Ing. Químico Col. No. 4208AC
 MSc. en Ingeniería San Carlos de Guatemala
 Jefe Técnico Laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: http://ci.usac.edu.gt

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO
Y/O DESECHOS INDUSTRIALES**

No. 4098

Orden de trabajo No.: **34 639**

Informe No. **2151**

| | | | |
|----------------------|--|---|---|
| INTERESADO: | SELYN ALDAR SOLORZANO FLORES CARNÉ No. 201114283 | PROYECTO: | Trabajo de graduación "Desarrollo de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz" |
| MUESTRA CAPTADA POR: | Interesado | DEPENDENCIA: | FACULTAD DE INGENIERIA USAC |
| MUESTRA CAPTADA EN: | Autoservicio Alvarez Calzada Roosevelt y 34 Av. 6-50, zona 7 Col. Toledo | FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: | 2015-05-05, 09:00 A 15:00h (comprueba) |
| FUENTE: | Afluente Líquidos finales (Alcantarillado antes de Col. Toledo) | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: | 2015-05-06, 10 h 56 min |
| MUNICIPIO: | Mixco | CONDICIONES DE TRANSPORTE: | Con refrigeración |
| DEPARTAMENTO: | Guatemala | | |

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

| | | | |
|--------|------------------|------------------------|--|
| OLOR: | Materia orgánica | SÓLIDOS SEDIMENTABLES: | 02.50 cm ³ /litro en 1 hora |
| COLOR: | 470.00 unidades | SÓLIDOS SUSPENDIDOS: | 850.00 mg/L |

DETERMINACIONES QUÍMICAS

| | | | |
|---|---------|----------|----------------------|
| DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O. ₅) | 75.00 | | mg/L |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O.) | 171.000 | | mg/L |
| FOSFATOS | 55.00 | mg/L | NITRATOS: 88.00 mg/L |
| POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): | 07.20 | unidades | |

OTRAS DETERMINACIONES: _____

TECNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - W.E.F. 21^{ra} EDICION 2005. NORMA COGUANOR NO. 4.010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Guatemala, 2015-05-19



V.o.B.o.
Inga Teles Maricela Coto Morales
DIRECTORA CIUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8500 Exts. 95209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación de anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

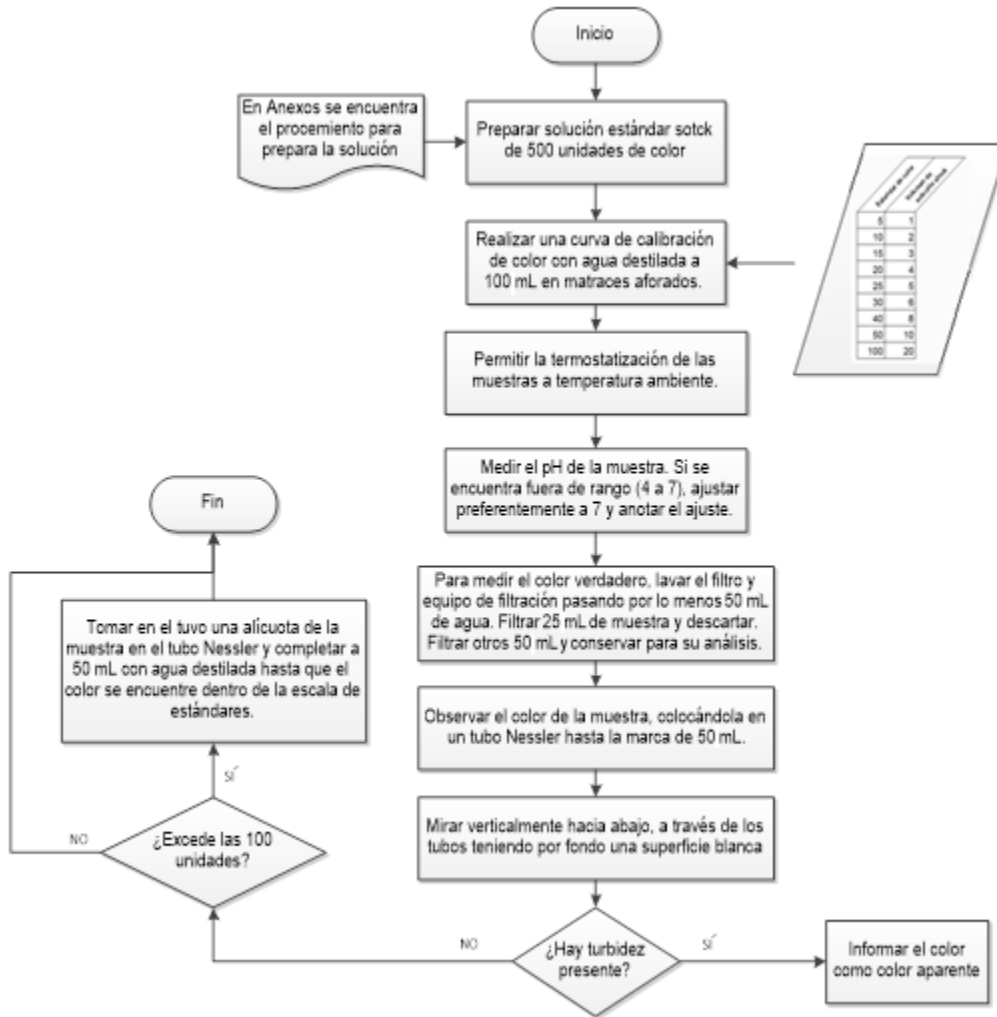


No. 4099

| EXAMEN BACTERIOLOGICO | | INF. No. A - 359778 |
|--|--|---|
| O.T. No. 34 639 | | |
| INTERESADO: <u>SILVY ALDAR SOL ORZANO FLORES, CARNÉ No. 201115283</u> | PROYECTO: <u>Trabajo de graduación "Desarrollo de un plan de gestión para el mantenimiento y disposición de las aguas residuales de un taller mecánico automotriz"</u> | |
| MUESTRA RECOLECTADA POR: <u>Interesado</u> | DEPENDENCIA: <u>FACULTAD DE INGENIERIA CIAC</u> | |
| LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: <u>Autoservicio Ahorro, Cuzco Boscayak y 34 Av. 9-50, zona 7 Col. Totolón</u> | FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: <u>2015-05-05 (MIÉ) A 14:00 hrs (ampliado)</u> | |
| FUENTE: <u>Alfaro, Boscayak, Totolón (algunos días antes de Col. Totolón)</u> | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: <u>2015-05-06, 10 h:06 min</u> | |
| MUNICIPIO: <u>Miscu</u> | CONDICIONES DE TRANSPORTE: <u>Con refrigeración</u> | |
| DEPARTAMENTO: <u>Guatemala</u> | | |
| SABOR: <u>----</u> | SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN: <u>Gran cantidad</u> | |
| ASPECTO: <u>Turbio</u> | CLORO RESIDUAL: <u>-----</u> | |
| OLOR: <u>Materia orgánica</u> | | |
| INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES) | | |
| | | PRUEBA CONFIRMATIVA |
| PRUEBAS NORMALES | PRUEBA PRESUNTIVA | FORMACION DE GAS |
| CANTIDAD SEMBRADA | FORMACION DE GAS - 35°C | TOTAL FECAL 44.5°C |
| 0,001 cm ³ | +++++ | +++++ +---- |
| 0,0001 cm ³ | +++++ | +++++ ---- |
| 0,00001 cm ³ | +++++ | +++++ ---- |
| RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES/100cm ³ | | >16 x 10 ⁴ 4 x 10 ⁴ |
| <p>TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21^{ra} NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.</p> <p>Guatemala, 2015-05-19</p> <p>Yo.Bo.  </p> <p style="text-align: right;"> </p> <p style="text-align: center;">Inga Telma Maricela Cero Morales DIRECTORA CI/USAC</p> | | |
| <p>FACULTAD DE INGENIERIA - USAC - Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono direct: 2418-9119, Planta: 2418-9000 Ext: 96209 y 96221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt</p> | | |

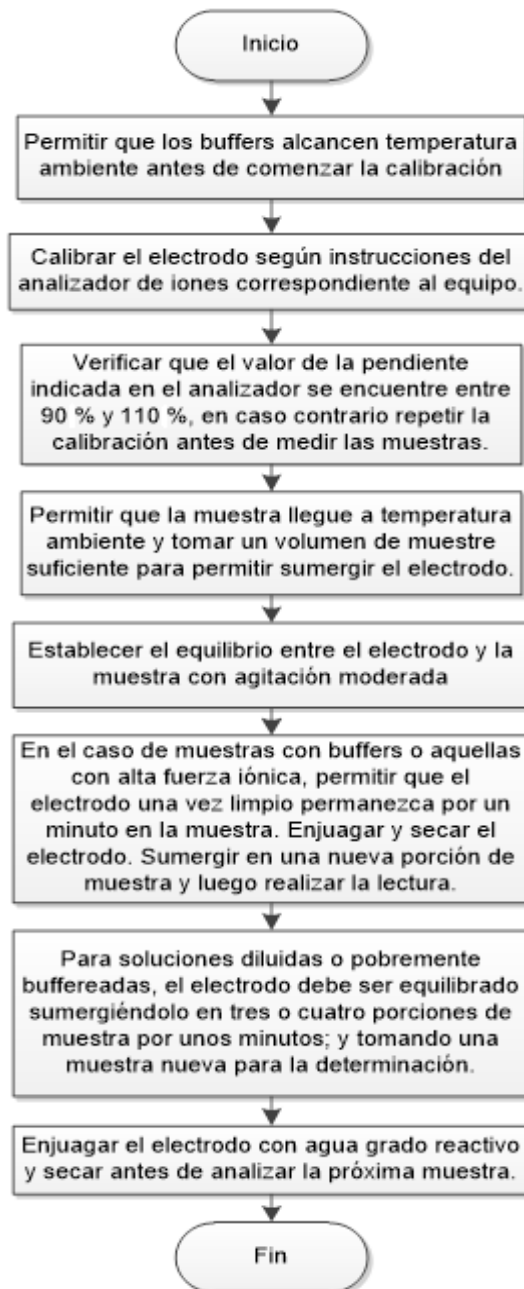
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Metodología para la determinación de color



Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. p. 2-2.

Anexo 4. **Metodología para la determinación de pH**



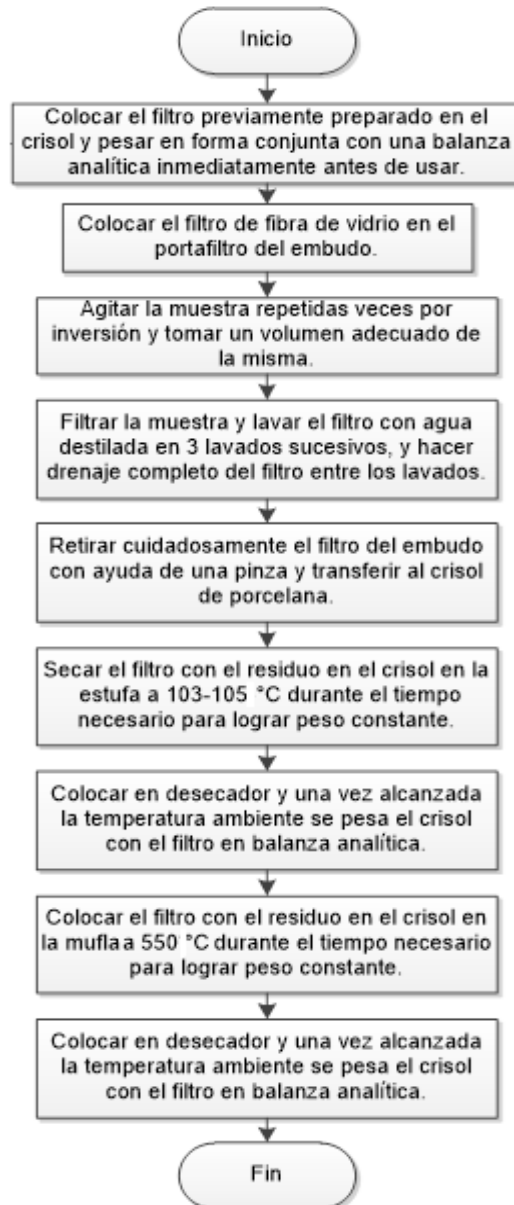
Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. p. 4-90.

Anexo 5. Metodología para la determinación de grasas y aceites



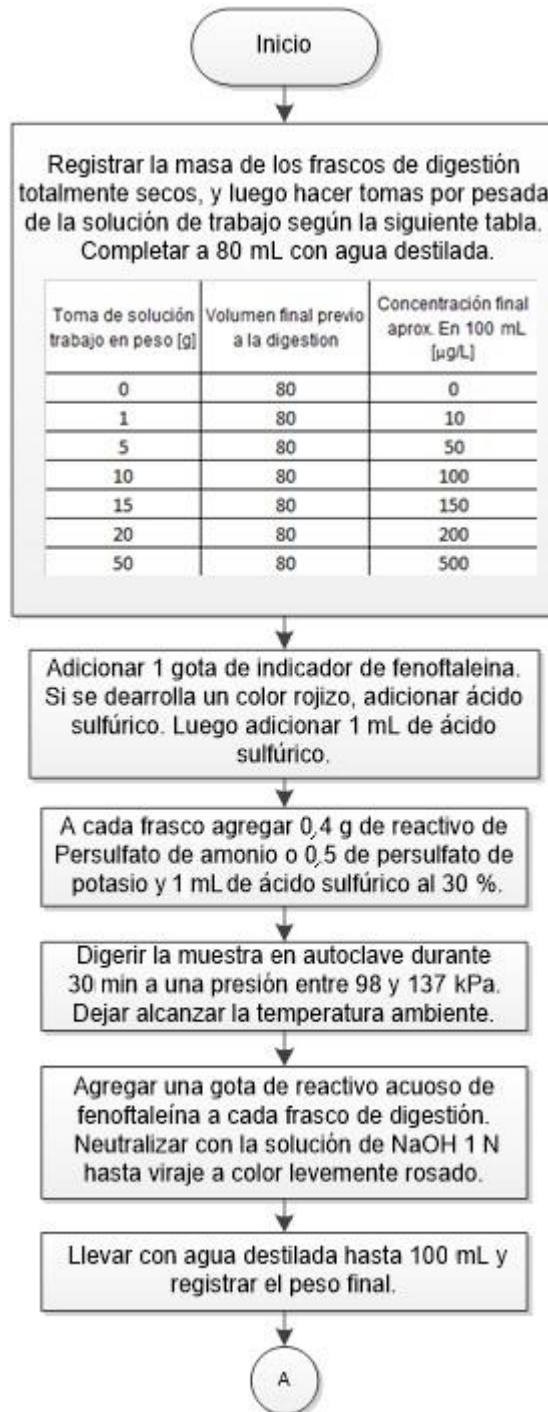
Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. p. 4-95.

Anexo 6. **Metodología para la determinación de sólidos totales, fijos y volátiles**

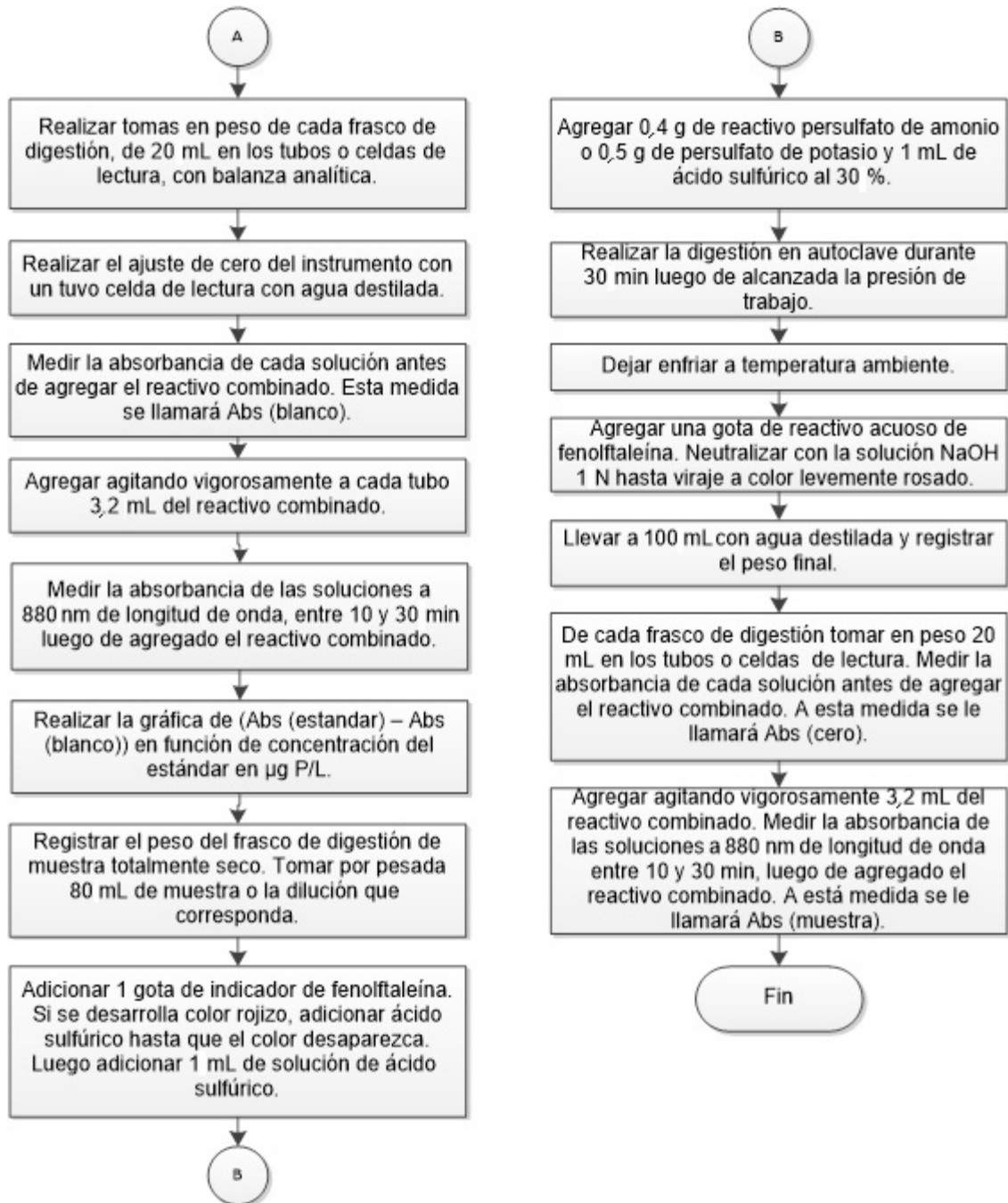


Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. p. 2-58 y 2-59.

Anexo 7. **Metodología para la determinación de fósforo total**

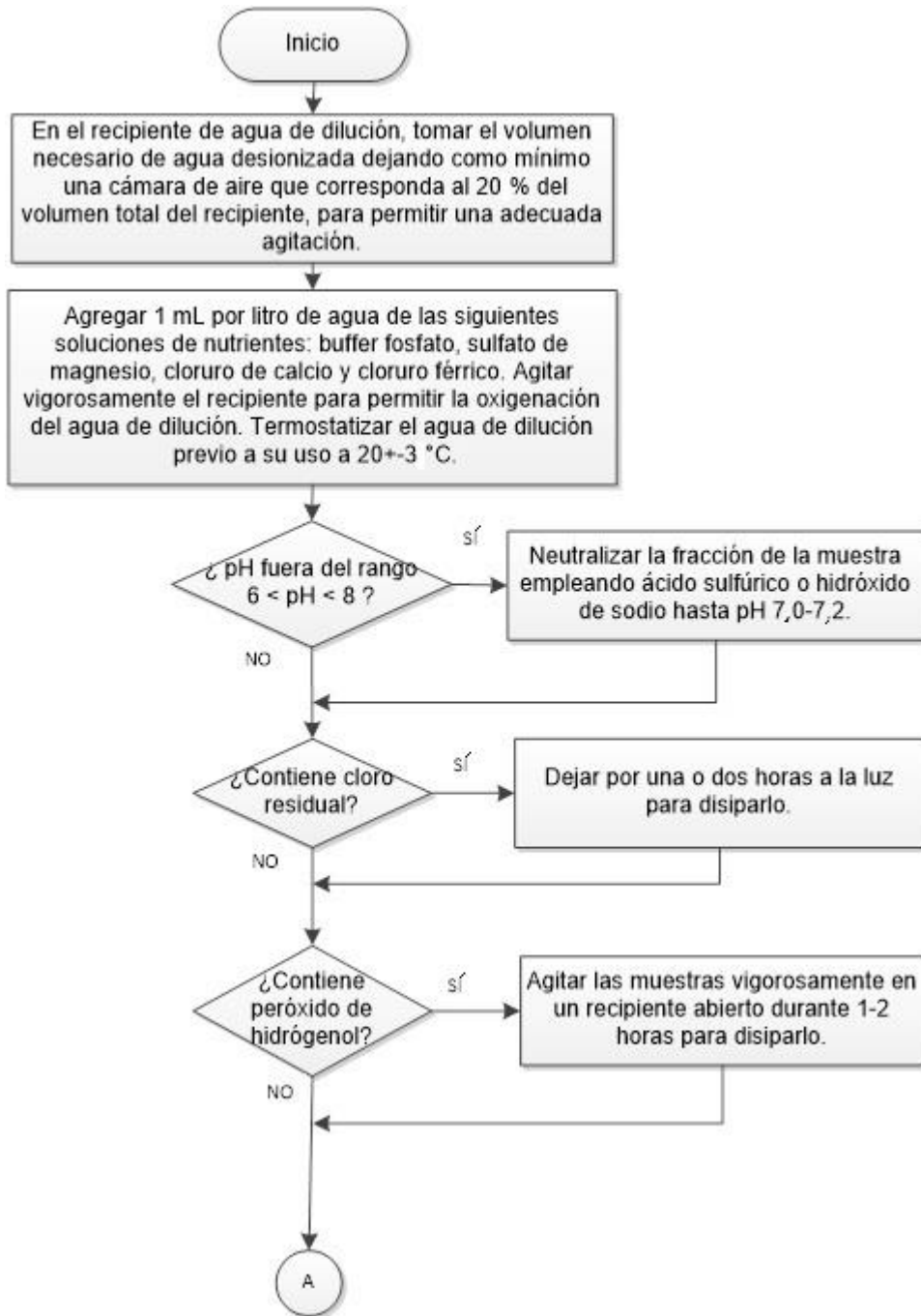


Continuación de anexo 7.

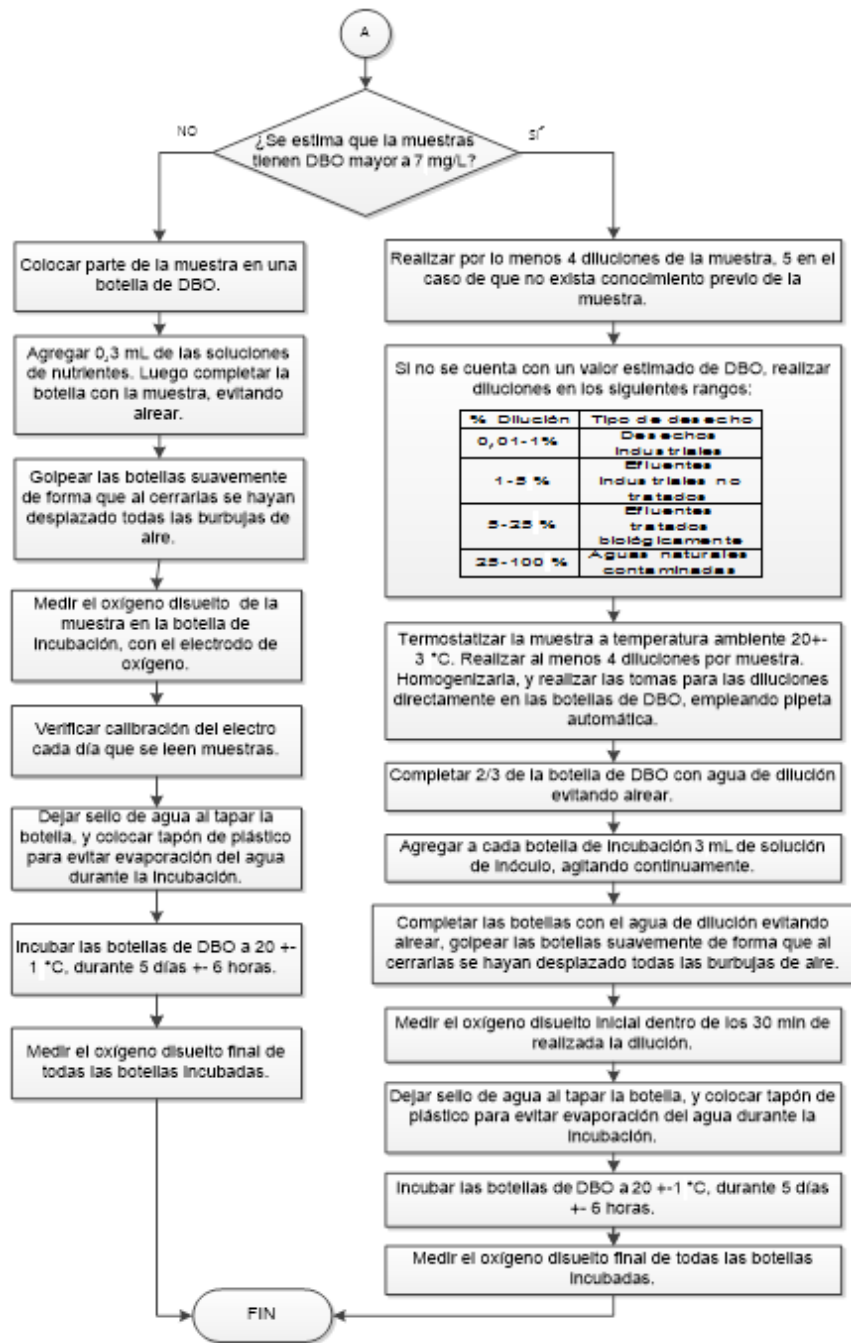


Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. p.4-146 – 4-153.

Anexo 8. Metodología para la determinación de DBO

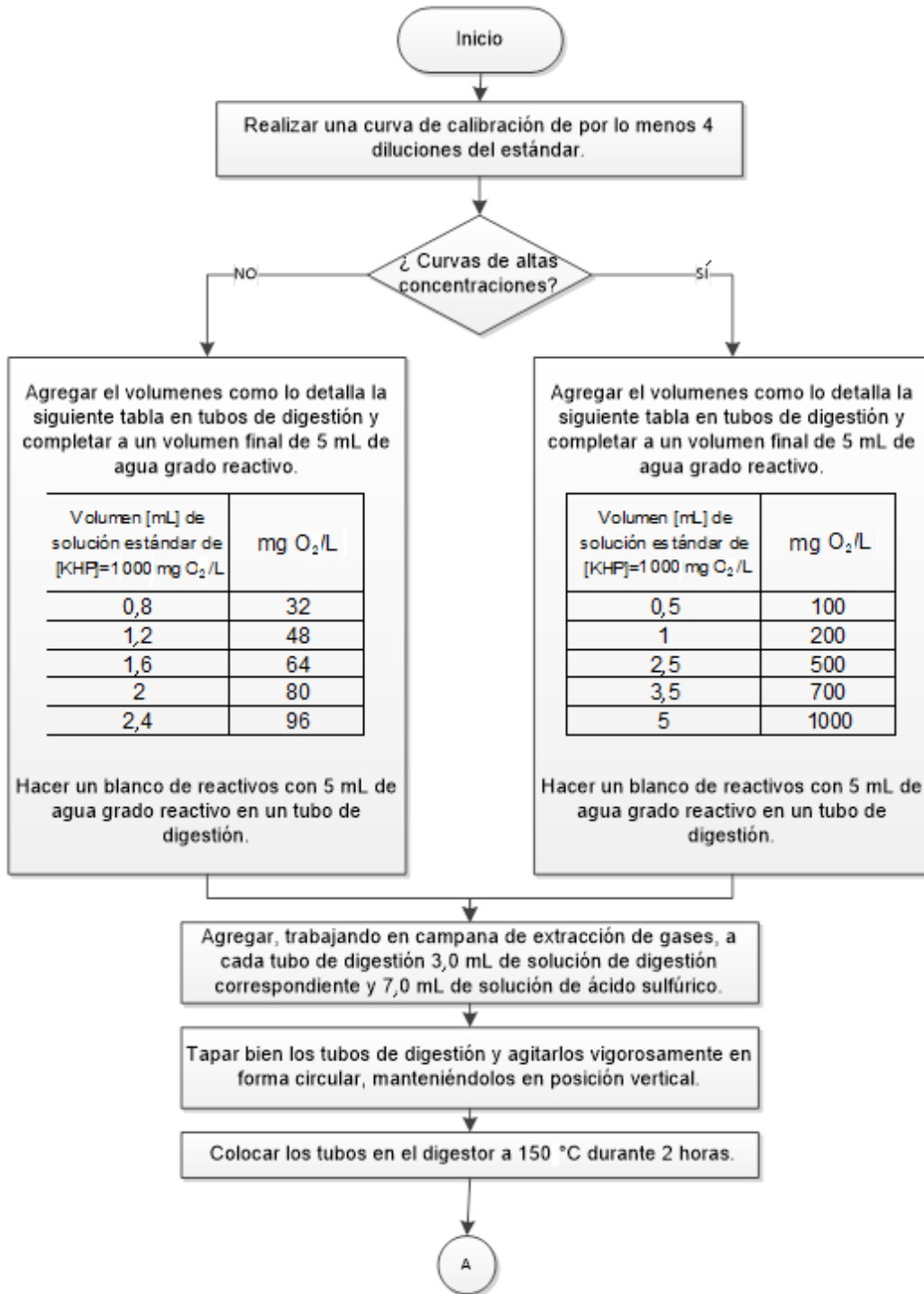


Continuación de anexo 8.



Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water Wastewater*. p. 4-156.

Anexo 9. Metodología para la determinación de DQO

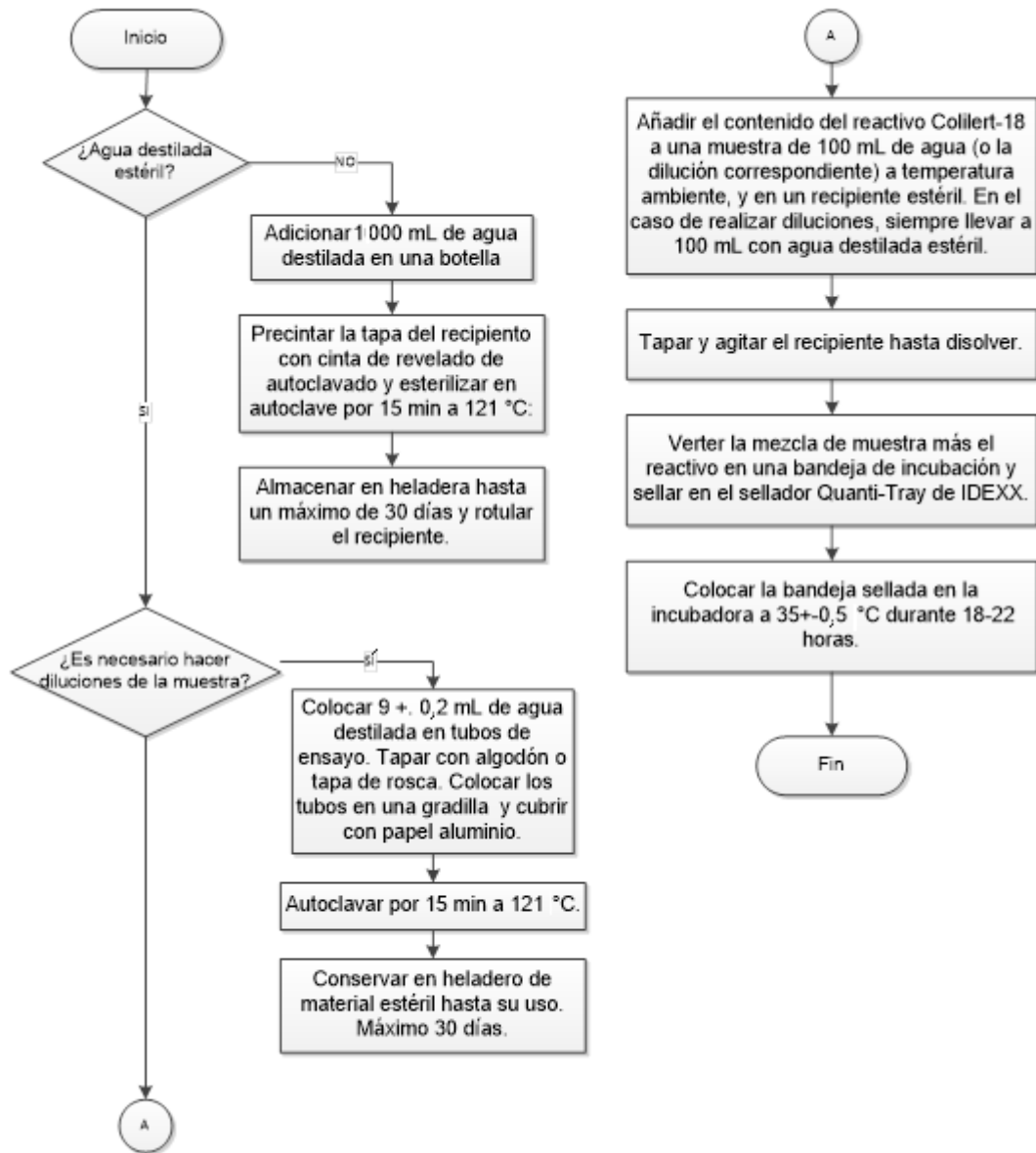


Continuación de anexo 9.



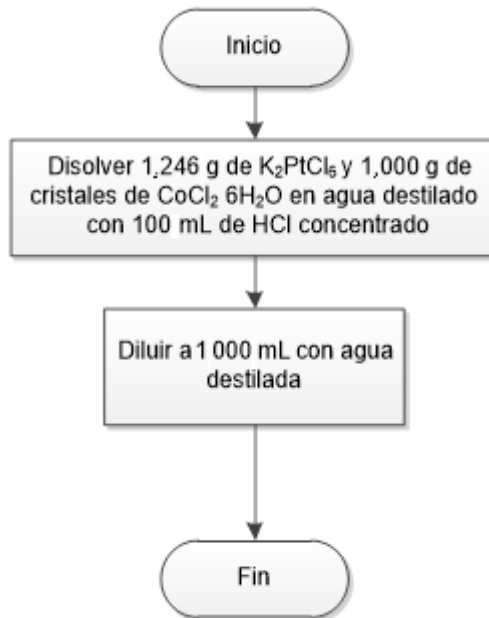
Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water Wastewater*. p. 5-18.

Anexo 10. Metodología para la determinación de coliformes totales



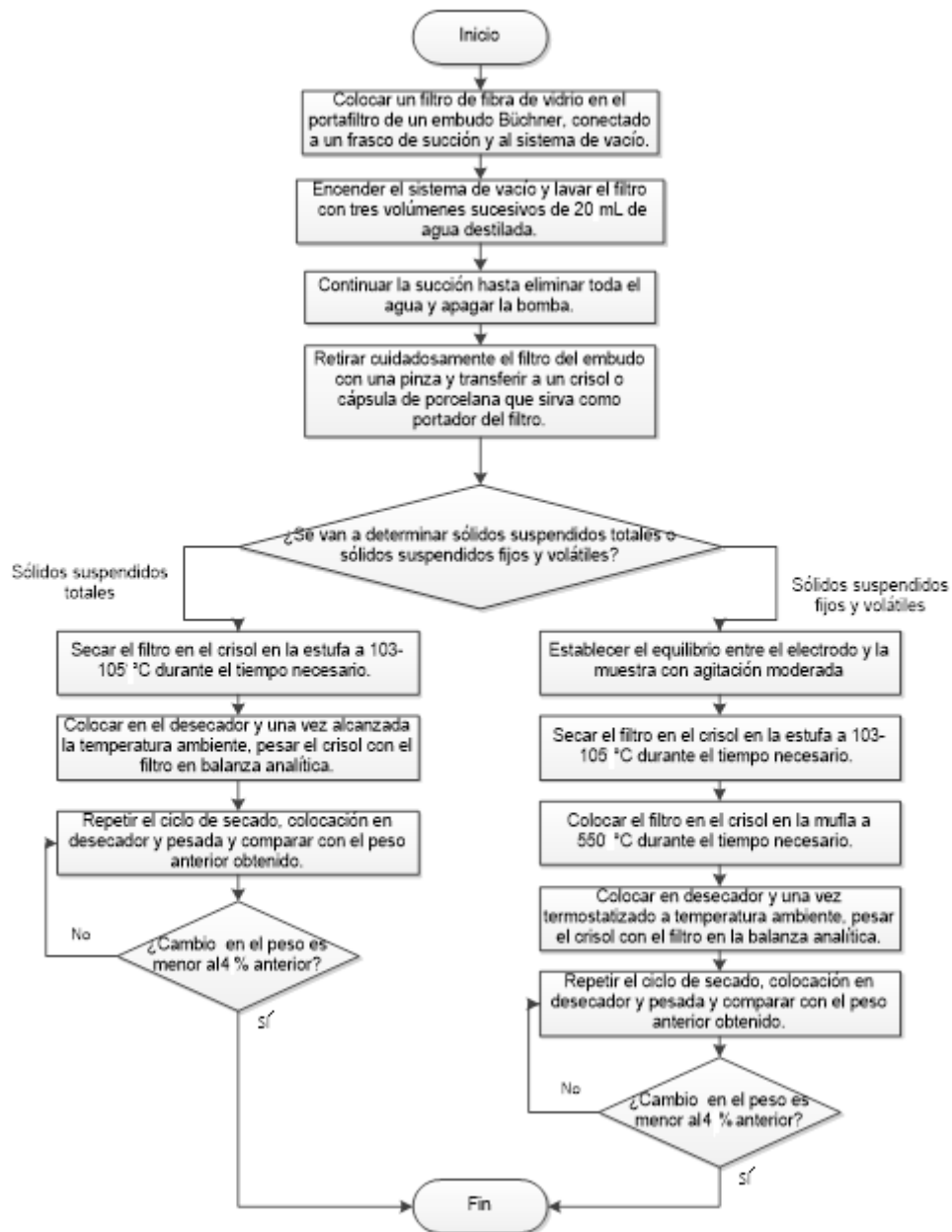
Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of Water Wastewater*. p.2-153.

Anexo 11. **Preparación de solución estándar stock de 500 unidades de color**



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. **Procedimiento para la preparación del filtro en la determinación de sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles**



Fuente: American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water wastewater*. p. 2-58 y 2-59.