



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: PROPUESTA DE UN MODELO DE TRATAMIENTO
PARA DESCONTAMINAR AGUAS RESIDUALES EN
SAN JOSÉ DE CHALTURA**

AUTOR: RUIZ MEDINA, MARITZA DOLORES

DIRECTOR: ING. MG. SC. LEÓN CASTRO, CARLOS MARCELO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“PROPUESTA DE UN MODELO DE TRATAMIENTO PARA DESCONTAMINAR AGUAS RESIDUALES EN SAN JOSÉ DE CHALTURA”** fue realizado por la Señorita Ing. *Ruiz Medina, Maritza Dolores*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Abril del 2018

Ing. Carlos Marcelo León Castro, Mg. Sc.

C.C.: 110346394-7



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ruiz Medina, Maritza Dolores**, con cédula de identidad n° 1002977898 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Propuesta de un modelo de tratamiento para descontaminar aguas residuales en San José de Chaltura* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Abril del 2018

Firma manuscrita en tinta azul de Maritza Dolores Ruiz Medina.
Ing, Maritza Dolores Ruiz Medina

C.C.: 1002977898



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA


VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ruiz Medina, Maritza Dolores**, con C. C. n° 1002977898 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Propuesta de un modelo de tratamiento para descontaminar aguas residuales en San José de Chaltura* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, Abril del 2018


Ing, **Maritza Dolores Ruiz Medina**
C.C.: 1002977898

DEDICATORIA

El éxito es un desafío y la culminación se consigue con el compromiso, en el que se incluye más de uno. Por eso con amor, todo el esfuerzo y sacrificio de este logro académico dedicó a Dios, a Marcela Viláñez, a Edison Castillo y a mi familia por ser mi inspiración, mi motivación y mi fortaleza en cada momento de mi vida

Maritza Dolores Ruiz Medina

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi compañía en cada paso de mi vida, por darme la sabiduría, fortaleza y salud para cumplir esta meta.

A Marcela Viláñez y Edison Castillo por ser los puntales y la motivación de mi vida, a mi madre Maritza, mi tía Fanny Medina Quezada y mi familia por el apoyo proporcionado para la culminación de esta carrera.

A la ESPE y a todos los docentes por los conocimientos y experiencias compartidos. A Marcelo León y Richard Ramírez por su aporte y colaboración para lograr terminar este proyecto.

Maritza Dolores Ruiz Medina

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| CERTIFICACIÓN | iv |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | ii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vi |
| RESUMEN | xiv |
| ABSTRACT | xv |
| CAPITULO I | |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 2 |
| 1.2.1 Desarrollo del problema | 2 |
| 1.2.2 Planteamiento del problema | 3 |
| 1.2.3 Formulación del problema a resolver | 5 |
| 1.3 Justificación e importancia | 5 |
| 1.4 Objetivos | 7 |
| 1.4.1 General | 7 |
| 1.4.2 Especifico | 7 |
| 1.5 Hipótesis | 7 |
| 1.6 Localización geográfica del tema y área de influencia | 8 |
| 1.7 Marco legal | 8 |
| 1.8 Estado del arte | 9 |
| CAPITULO II | |
| MARCO TEÓRICO | 12 |
| 2.1 Aguas residuales | 12 |
| 2.1.1 Clasificación de las aguas residuales | 13 |
| 2.1.1.1 Aguas residuales blancas | 13 |
| 2.1.1.2 Aguas residuales domésticas o aguas negras | 14 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.1.1.3 | Aguas residuales agrícolas: | 14 |
| 2.1.1.4 | Aguas residuales industriales | 15 |
| 2.1.2 | Constituyentes del agua residual | 15 |
| 2.1.2.1 | Constituyentes físicos del agua residual..... | 16 |
| 2.1.2.2 | Constituyentes biológicos del agua residual | 17 |
| 2.1.2.3 | Constituyentes químicos del agua residual | 18 |
| 2.2 | Sistemas de tratamiento de aguas residuales..... | 20 |
| 2.2.1 | Pretratamiento..... | 21 |
| 2.2.1.1 | Rejillas..... | 22 |
| 2.2.1.2 | Desarenadores | 23 |
| 2.2.1.3 | Desgrasadores..... | 25 |
| 2.2.2 | Tratamiento Primario..... | 25 |
| 2.2.2.1 | Sedimentadores: | 26 |
| 2.2.3 | Tratamiento Secundario..... | 28 |
| 2.2.3.1 | Reactor | 28 |
| 2.2.3.2 | Decantador secundario | 28 |
| 2.2.3.3 | Fitorremediación acuática | 30 |
| 2.2.4 | Tratamiento terciario | 30 |
| 2.2.4.1 | Cloración | 30 |
| 2.3 | Plantas acuáticas..... | 34 |
| 2.3.1 | Emergentes | 35 |
| 2.3.2 | Sumergidas | 35 |
| 2.3.2.1. | <i>Cyperus helferi</i> | 35 |
| 2.3.3 | Flotantes | 37 |
| 2.3.3.1. | <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) | 38 |
| 2.3.3.2. | <i>Azolla caroliniana</i> (Helecho de agua) | 40 |
| 2.3.3.3. | <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua) | 41 |
| CAPITULO III | | |
| TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO..... | | 43 |
| 3.1 | Diagnóstico de los problemas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura... 43 | 43 |
| 3.1.1 | Descripción general | 43 |
| 3.1.2 | Procesos de la planta de tratamiento. | 43 |

| | | |
|--------------------------------------|---|-----------|
| 3.1.3 | Análisis de los parámetros en la evaluación preliminar | 44 |
| 3.1.3.1 | DBO ₅ | 44 |
| 3.1.3.2 | DQO | 45 |
| 3.1.3.3 | Coliformes totales | 46 |
| 3.1.3.4 | Coliformes fecales..... | 46 |
| 3.2 | Determinación de las especies y combinaciones de las plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento secundario..... | 47 |
| 3.2.1 | DBO ₅ | 48 |
| 3.2.2 | DQO | 48 |
| 3.2.3 | Coliformes totales..... | 48 |
| 3.2.4 | Coliformes fecales | 48 |
| 3.3 | Propuesta para mejorar el sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura | 49 |
| 3.3.1 | DBO ₅ | 49 |
| 3.3.2 | DQO | 50 |
| 3.3.3 | Coliformes totales..... | 50 |
| 3.3.4 | Coliformes fecales | 50 |
| 3.3.5 | Sensores ambientales..... | 50 |
| 3.3.5.1 | Humedad relativa | 50 |
| 3.3.5.2 | Presión Barométrica | 51 |
| 3.3.5.3 | Temperatura Ambiente..... | 51 |
| 3.3.5.4 | Temperatura del reactor..... | 51 |
| 3.3.5.5 | Oxígeno disuelto | 52 |
| 3.3.5.6 | Conductividad | 52 |
| 3.3.5.7 | Potencial de Hidrógeno | 52 |
| CAPITULO IV | | |
| RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | | 53 |
| 4.1 | Diagnóstico de los problemas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura... | 53 |
| 4.1.1 | Descripción General | 53 |
| 4.1.2 | Procesos de la planta de tratamiento. | 54 |
| 4.1.2.1 | Pretratamiento | 55 |
| 4.1.2.2 | Tratamiento primario..... | 57 |
| 4.1.2.3 | Tratamiento secundario | 58 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.1.3 | Análisis de los parámetros en la evaluación preliminar | 59 |
| 4.1.3.1 | DBO ₅ | 60 |
| 4.1.3.2 | DQO | 61 |
| 4.1.3.3 | Coliformes totales | 62 |
| 4.1.3.1 | Coliformes fecales..... | 63 |
| 4.2 | Determinación de las especies y combinaciones de las plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento secundario..... | 64 |
| 4.2.1 | DBO ₅ | 71 |
| 4.2.2 | DQO | 74 |
| 4.2.3 | Coliformes totales..... | 78 |
| 4.2.4 | Coliformes fecales | 82 |
| 4.3 | Propuesta para mejorar el sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura | 86 |
| 4.3.1 | Sensores Ambientales..... | 88 |
| 4.3.1.1 | Temperatura Ambiente..... | 89 |
| 4.3.1.2 | Temperatura del reactor..... | 91 |
| 4.3.1.3 | Humedad relativa | 93 |
| 4.3.1.4 | Presión Atmosférica | 95 |
| 4.3.1.5 | Oxígeno disuelto | 96 |
| 4.3.1.6 | Potencial de hidrógeno | 98 |
| 4.3.1.7 | Conductividad | 100 |
| 4.3.2 | DBO ₅ | 103 |
| 4.3.3 | DQO | 105 |
| 4.3.4 | Coliformes totales..... | 107 |
| 4.3.5 | Coliformes fecales | 109 |
| 4.3.6 | Tratamiento terciario | 111 |
| 4.3.6.1 | Concentración de Cloro..... | 111 |
| 4.3.6.2 | Tiempo de contacto | 111 |
| 4.3.6.3 | Concentración final de coliformes luego de la cloración | 112 |
| 4.3.6.4 | Costo y cantidad de materia prima | 112 |
| 4.3.6.5 | Cálculo de almacenamiento de agua | 113 |
| 4.3.6.6 | Cálculo del tanque de agitación..... | 113 |

| | |
|--|------------|
| CAPITULO V | 117 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 117 |
| 5.1 Conclusiones | 117 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 118 |
| | |
| REFERENCIAS EFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 120 |
| ANEXOS | 122 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | <i>Taxonomía de la planta <i>Cyperus Helferi</i></i> | 36 |
| Tabla 2 | <i>Taxonomía de la planta <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)</i> | 39 |
| Tabla 3 | <i>Taxonomía de la planta <i>Azolla caroliniana</i> (Helecho de agua)</i> | 40 |
| Tabla 4 | <i>Taxonomía de la planta <i>Lemma minor</i> (Lenteja de agua)</i> | 42 |
| Tabla 5 | <i>Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i> | 61 |
| Tabla 6 | <i>Valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> | 62 |
| Tabla 7 | <i>Valores de los coliformes totales</i> | 63 |
| Tabla 8 | <i>Valores de los coliformes fecales</i> | 64 |
| Tabla 9 | <i>Tratamientos utilizados para determinar la composición de las plantas acuáticas que permita definir el reactor con máximas remociones de coliformes fecales</i> | 70 |
| Tabla 10 | <i>Resultados de los análisis para DBO₅ en las combinaciones de plantas acuáticas</i> | 71 |
| Tabla 11 | <i>Resultados de los análisis para DQO en las combinaciones de plantas acuáticas</i> | 75 |
| Tabla 12 | <i>Resultados de los análisis para coliformes totales en las combinaciones de plantas acuáticas</i> | 79 |
| Tabla 13 | <i>Resultados de los análisis para coliformes fecales en las combinaciones de plantas acuáticas</i> | 83 |
| Tabla 14 | <i>Valores de los resultados reportados con el uso de los sensores ambientales</i> | 89 |
| Tabla 15 | <i>Valores de los resultados reportados en laboratorio para el análisis con <i>Lemma minor</i></i> | 102 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Ubicación del Proyecto, planta de tratamiento – Chaltura..... | 8 |
| Figura 2 | Rejilla de desbaste..... | 22 |
| Figura 3 | Partes de un desarenador..... | 24 |
| Figura 4 | Reacciones del cloro en el agua..... | 32 |
| Figura 5 | <i>Cyperus Helferi</i> | 37 |
| Figura 6 | <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)..... | 39 |
| Figura 7 | <i>Azolla caroliniana</i> (Helecho de agua)..... | 41 |
| Figura 8 | <i>Lemma minor</i> (Lenteja de agua)..... | 42 |
| Figura 9 | Cajón con rejilla..... | 55 |
| Figura 10 | Desarenador..... | 56 |
| Figura 11 | Cajón regulador de caudal..... | 57 |
| Figura 12 | Distribución de la plataforma y los estanques en la PTAR..... | 59 |
| Figura 13 | Toma de muestra del efluente de la PTAR..... | 60 |
| Figura 14 | Reactor con <i>Lemma minor</i> | 65 |
| Figura 15 | Reactor con <i>Eichhornia crassipes</i> | 65 |
| Figura 16 | Reactor con <i>Azolla caroliniana</i> | 66 |
| Figura 17 | Reactor con <i>Cyperus helferi</i> | 66 |
| Figura 18 | Reactor con <i>Lemma minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> | 67 |
| Figura 19 | Reactor con <i>Lemma minor</i> y <i>Azolla caroliniana</i> | 67 |
| Figura 20 | Reactor con <i>Lemma minor</i> y <i>Cyperus helferi</i> | 68 |
| Figura 21 | Reactor con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Azolla caroliniana</i> | 68 |
| Figura 22 | Reactor con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Cyperus helferi</i> | 69 |
| Figura 23 | Reactor con <i>Azolla caroliniana</i> y <i>Cyperus helferi</i> | 69 |
| Figura 24 | Gráfico del análisis del DBO ₅ de las diez combinaciones..... | 72 |
| Figura 25 | Análisis multivariable para el DBO ₅ | 74 |
| Figura 26 | Caja de Bigotes del DQO representado para las 10 muestras..... | 75 |
| Figura 27 | Gráfico del análisis para el DQO en las diez combinaciones..... | 76 |
| Figura 28 | Análisis del DQO calculado para las 10 muestras..... | 78 |
| Figura 29 | Caja de Bigotes de los coliformes totales para las 10 muestras..... | 80 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figura 30 | Gráfico para el análisis de los coliformes totales en las diez combinaciones..... | 81 |
| Figura 31 | Análisis de los coliformes totales para las 10 muestras | 82 |
| Figura 32 | Gráfico de medianas para los coliformes fecales en las diez muestras..... | 84 |
| Figura 33 | Caja de Bigotes para los coliformes fecales representado para las 10 muestras..... | 85 |
| Figura 34 | Análisis multivariable para los coliformes fecales | 86 |
| Figura 35 | Esquema de los reactores en el análisis con Lenteja de agua. | 87 |
| Figura 36 | Esquema de reactores con Lenteja de agua, en el análisis sensores ambientales | 87 |
| Figura 37 | Gráfico de dispersión de la temperatura ambiente..... | 90 |
| Figura 38 | Análisis multivariable para la temperatura ambiente..... | 91 |
| Figura 39 | Gráfico de dispersión de la temperatura del reactor | 92 |
| Figura 40 | Análisis multivariable para la temperatura del reactor | 93 |
| Figura 41 | Gráfico de dispersión para la humedad relativa..... | 94 |
| Figura 42 | Análisis multivariable para la humedad relativa..... | 95 |
| Figura 43 | Análisis multivariable para la presión atmosférica | 96 |
| Figura 44 | Gráfico de dispersión para el oxígeno disuelto | 97 |
| Figura 45 | Análisis multivariable para el oxígeno disuelto | 98 |
| Figura 46 | Gráfico de dispersión para el potencial de hidrógeno..... | 99 |
| Figura 47 | Análisis multivariable para el potencial de hidrogeno..... | 100 |
| Figura 48 | Gráfico de dispersión para la conductividad..... | 101 |
| Figura 49 | Análisis multivariable para la conductividad..... | 102 |
| Figura 50 | Análisis multivariable para DBO ₅ con respecto al reactor con Lenteja de agua.... | 103 |
| Figura 51 | Gráfico de dispersión para el DBO ₅ con Lenteja de agua..... | 104 |
| Figura 52 | Análisis multivariable para el DQO con Lenteja de agua..... | 105 |
| Figura 53 | Gráfico de dispersión de los valores para el DQO con Lenteja de agua..... | 106 |
| Figura 54 | Análisis multivariable para los coliformes totales con Lenteja de agua | 107 |
| Figura 55 | Gráfico de dispersión de coliformes totales con Lenteja de agua..... | 108 |
| Figura 56 | Análisis multivariable para los coliformes fecales con Lenteja de agua | 109 |
| Figura 57 | Gráfico de dispersión para los coliformes fecales con Lenteja de agua | 110 |
| Figura 58 | Esquema del Tanque de agitación..... | 114 |
| Figura 59 | Dimensiones del agitador tipo ancla | 115 |
| Figura 60 | Diseño de la propuesta para descontaminar aguas residuales PTAR - Chaltura.... | 116 |

RESUMEN

En este trabajo se formuló un tratamiento para descontaminar el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia San José de Chaltura, en un análisis preliminar el reporte de coliformes totales y fecales están fuera del Acuerdo Ministerial 097-A que establece los criterios de calidad de aguas para riego agrícola y la Tabla 6 del (TULAS) que admite un valor máximo de 1000 NMP/100 mL. Se trataron las aguas residuales con *Lemma minor*, *Eichhornia crassipes*, *Azolla caroliniana*, *Cyperus helferi* considerando la combinación de las plantas acuáticas en diez reactores durante 15 días (0, 7, 12, 15) evaluando coliformes fecales, coliformes totales, DBO5, DQO. Se determinó que la mejor especie acuática fue la Lenteja de agua (*Lemma minor*) porque logro disminuir su valor a 1,04 E+05 y 1,4 E+04 para coliformes totales y fecales respectivamente, luego se analizó por triplicado durante 15 días adicionales con Lenteja de agua el DBO5, DQO, coliformes fecales, coliformes totales, con sensores ambientales se registró diariamente la humedad relativa, presión, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, pH obteniendo una disminución de 8,18 E+04 NMP/100mL para coliformes totales y de 1,05 E+04 NMP/100mL para fecales, sin llegar al mínimo valor normado. Para lograr descontaminar las aguas residuales se propone un tratamiento terciario que permita disminuir el parámetro de coliformes con Cloración. Se determinó una disminución de 850 NMP/100mL para coliformes totales y de 108 NMP/100mL para coliformes fecales, valores que están por debajo del normado para la reutilización como agua de riego.

PALABRAS CLAVES:

- **DESCONTAMINACION DE AGUAS**
- **COLIFORMES**
- **AGUA RESIDUAL**
- **CLORACIÓN**

ABSTRACT

In this work was formulated a treatment to decontaminate the effluent from the Wastewater Treatment Plant of the parish San José de Chaltura, in a preliminary analysis the report of total and fecal coliforms are outside the Ministerial Agreement 097-A that establishes the water quality criteria for agricultural irrigation and Table 6 of the (TULAS) that admits a maximum value of 1000 NMP / 100 mL. It deals with sewage with *Lemma minor*, *Eichhornia crassipes*, *Azolla caroliniana*, *Cyperus helferi* considering the combination of aquatic plants in ten reactors during 15 days (0, 7, 12, 15). Fecal coliforms, total coliforms, DBO₅, DQO were evaluated. It was determined that the best aquatic species was the Lenteja de agua (*Lemma minor*) because it managed to decrease its value to 1.04 E + 05 and 1.4 E + 04 for total and fecal coliforms respectively, then it was analyzed in triplicate during 15 days additional with Lentil of water the DBO₅, DQO, fecal coliforms, total coliforms, with ambient temperature, dissolved oxygen, conductivity, pH obtaining a decrease of 8.18 E + 04 NMP/100mL for total coliforms and 1.05 E + 04 NMP/100mL for faecal, without reaching the minimum regulated value. To achieve the level of wastewater, a tertiary treatment is proposed, which allows to reduce the coliform parameter with Chlorination. A decrease of 850 NMP/100mL for total coliforms and 108 NMP/100mL for fecal coliforms was determined, values that are below the standard for reuse as irrigation water.

KEY WORDS:

- WATER DECONTAMINATION
- COLIFORMS
- RESIDUAL WATER
- CHLORINE

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 ANTECEDENTES

El agua se encuentra circulando constantemente por el planeta en estado sólido, líquido y gaseoso, por lo que es considerada un factor importante en el origen y la evolución de la vida en la Tierra. La existencia de este líquido vital es necesaria para los seres vivos terrestres, su conservación implica directamente brindar un aporte positivo al ciclo hidrológico pero al afectar negativamente su calidad por influencia antropogénica se tiene “aguas residuales” que deben ser tratadas para evitar graves problemas de contaminación.

Esta investigación se enfoca en resolver el problema de contaminación de la planta de tratamiento biológica de aguas residuales en San José de Chaltura, que en la evaluación preliminar del efluente, el análisis de los coliformes fecales reportó un valor promedio de $6,74 \times 10^5$ UFC/100 mL, valor que excede del límite permisible según el Acuerdo Ministerial No. 097- A publicado en el Registro Oficial 387 el 4 de noviembre del 2015, en el numeral 5.1.3 (tabla No. 3) cuyo límite permisible para coliformes fecales en aguas destinadas a uso agrícola es: 1000 NMP/100 mL.

Para iniciar el proceso se realiza un diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento, para luego realizar la propuesta que disminuirá el valor de coliformes fecales. Se realizará un estudio por triplicado durante 15 días, se utilizará reactores biológicos de (50 x 30 x 30) cm³ y combinaciones de plantas acuáticas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), Lenteja de agua (*Lemna minor*), Cyperus (*Cyperus helferi*) y Helecho de agua (*Azolla caroliniana*). Se analizará el valor de DBO₅, DQO, coliformes fecales, coliformes totales en laboratorio, además con el uso de sensores ambientales se reportará valores de la humedad relativa (HR), presión atmosférica, conductividad, temperatura ambiente y del reactor.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Desarrollo del problema

El agua es un recurso natural, considerado vital por ser un elemento esencial en el desarrollo de la vida pero su distribución a nivel mundial es desigual por lo que algunos gobiernos invierten gran parte de su presupuesto en la conservación y tratamiento para garantizar el abastecimiento, en Ecuador la distribución del líquido es de manera irregular (Montes, 2015).

El desarrollo industrial del cantón Antonio Ante inicio en 1975 con el crecimiento textil que caracteriza a la zona, además del aporte de hortalizas, frutas que incluyen un 16 % de la agricultura del Ecuador. El recurso hídrico comenzó a ser deficiente a partir del año 1980 por el aumento de la población y para el año 2000 el gobierno comenzó a interesarse en la gestión del recurso efectivo.

Los principales sectores contaminantes del agua fueron: textiles y por las aguas residuales de sus parroquias (Cevallos, 2011). El agua después de haber sido utilizada en el consumo doméstico, en las fábricas, en actividades ganaderas, entre otras actividades originan las aguas residuales que aparecen sucias y contaminadas (contienen: grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas, entre otros). Estas aguas residuales, antes de ser devueltas a la naturaleza o al río más cercano deben ser tratadas para evitar la contaminación (Giuseppina, 2007)

La calidad ambiental de las aguas residuales es deficiente en el cantón Antonio Ante que posee una planta de tratamiento en San José de Chaltura que no garantiza que el agua tratada sea óptima para el riego de los cultivos de la zona. Para el 2019 se proyecta un incremento del caudal para riego que cubrirá una área aproximada de 7926,15 hectáreas afectando a 43518 personas (Mujeres 22449 y Hombre 21069) que habitan en el cantón con una temperatura promedio de 15,7 °C, precipitación promedio de 714 mm anual y HR entre (65 – 85)% (Cevallos, 2011).

1.2.2 Planteamiento del problema

Imbabura está formada por 6 cantones (Antonio Ante, Cotacachi, Ibarra, Otavalo, Pimampiro y San Miguel de Urququi), las mismas que están constituidas por parroquias urbanas y rurales. Las parroquias poseen invernaderos, planteles avícolas, criaderos de chanchos, cuyes, entre otros, en estas actividades se usan aguas de riego de los diferentes canales y acequias, el abastecimiento de los productos cultivados cubre otras parroquias, cantones, provincias a nivel nacional (Buitron , 2015).

Según SENAGUA la mayor cantidad de las aguas residuales tratadas son utilizadas para riego, para actividades como la agricultura y ganadería (Cevallos, 2011). San Francisco de Natabuela y San José de Chaltura poseen un tratamiento biológico para las aguas residuales en las que se utilizan plantas acuáticas. Actualmente se trata un caudal de 10,30 L/s mientras que la proyección en el diseño fue de 10,53 L/s para el año 2028, valores que se superaran antes de lo planificado (Cevallos, 2011).

La planta de tratamiento de aguas residuales de San José de Chaltura tiene varios procesos, inicialmente un pretratamiento en el que se tiene un cajón con rejilla, desarenador y un repartidor de caudal. En el tratamiento primario se tiene dos sedimentadores para luego pasar al tratamiento secundario en el que se tiene 38 estanques que tratan al agua residual con plantas acuáticas flotantes (Lenteja de agua y Lechuginas o Jacinto de agua) distribuidos en 4 plataformas que se encuentran conectadas en serie (Mantilla, 2017)

En la evaluación preliminar los valores obtenidos para los coliformes fecales en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias rurales Chaltura y Natabuela del cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura supera el límite permisible de 1000 NMP/100 mL según los criterios de calidad de aguas para riego agrícola establecido en el Acuerdo Ministerial No. 097- A para coliformes.

1.2.3 Formulación del problema a resolver

La planta de tratamiento de aguas residuales de San José Chaltura fue construida para tratar un caudal de 10,53 L/s en el año 2028 pero en la actualidad está con un caudal promedio de entrada de 10,3 L/s, este flujo abastece para el riego de los cultivos agrícolas y la ganadería de las parroquias de Chaltura y Natabuela que se comercializan entre las parroquias, dentro de la provincia e incluso a nivel nacional (Cevallos, 2011).

En el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente de salida del proceso de tratamiento se reportó un valor muy superior para el estudio de coliformes fecales $6,74 \times 10^5$ UFC/100 mL frente al normado 1000 NMP/ 100 mL en el Acuerdo Ministerial N.- 097-A en aguas que serán utilizadas para la agricultura. El exceso de este valor o la presencia de estas bacterias ocasionan varios efectos negativos al medio ambiente y a la salud pública de los que habitan por el sector o de las personas que consumen los productos que son regados con estas aguas, motivo por el cual es necesario realizar un tratamiento que garantice la calidad del recurso hídrico según la normativa vigente (Mantilla, 2017).

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El agua es la sustancia más abundante en el planeta, pero se presenta escasez de agua dulce a nivel mundial y en el país la contaminación del recurso hídrico según los datos reportados por empresas nacionales y ONGs se centran en labores petroleras, mineras y de agricultura,

principalmente devolviendo aguas residuales que ocasionan un riesgo al ambiente y a la salud del ser humano. En ciudades como: Guayaquil, Quito, Ibarra y Cuenca las empresas públicas de agua manejan tarifas diferenciadas como medida cautelar para incentivar el consumo apropiado por las compañías (Buitron , 2015).

En ocasiones se vierten las aguas residuales directamente a los ríos, sin depurarlas, contaminando los sectores y poblados cercanos por lo que deben ser conducidas a las plantas de tratamiento para devolver el recurso en las mejores condiciones posibles según los valores normados para los parámetros analizados (Giuseppina, 2007). En la planta de tratamiento de aguas residuales de San José de Chaltura se tiene la presencia de malos olores y los análisis realizados reportaron que el parámetro de coliformes fecales esta fuera del valor normado, esto indica que el riego de productos agrícolas está contaminado. El daño es para los habitantes del sector y los consumidores de los productos que son cultivados con el líquido en estas condiciones (Giuseppina, 2007).

Los coliformes causan daños por la transmisión de infecciones originadas por los nemátodos intestinales tanto a los agricultores como a las personas que consumen productos agrícolas cultivados en terrenos irrigados con estas aguas residuales, además de la transmisión de enfermedades a causa de bacterias fecales que producen enfermedades tales como la diarrea, tifoidea, cólera, entre otras enfermedades gastrointestinales (Pascual & Calderon, 2010). Por este motivo es imprescindible tratar las aguas residuales hasta conseguir mejorar la calidad y que el valor de coliformes disminuya hasta llegar a los establecidos en la normativa vigente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Evaluar el sistema de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales en San José de Chaltura.

1.4.2 Especifico

- Diagnosticar los problemas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura.
- Determinar las especies y combinaciones de las plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento secundario.
- Diseñar una propuesta para mejorar el sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura.

1.5 HIPÓTESIS

La evaluación y propuesta de mejora en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San José de Chaltura para las parroquias de Chaltura y Natabuela utilizando plantas acuáticas es el adecuado y permitirá el riego seguro para las plantaciones del cantón Antonio Ante.

1.6 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL TEMA Y ÁREA DE INFLUENCIA.

El cantón Antonio Ante lleva el nombre en honor al Dr. Antonio Ante López de la Flor (prócer de la independencia que fue entregado el 10 de Agosto de 1809 en Carondelet). El proyecto se realizará en Chaltura, parroquia rural, perteneciente al Cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura.

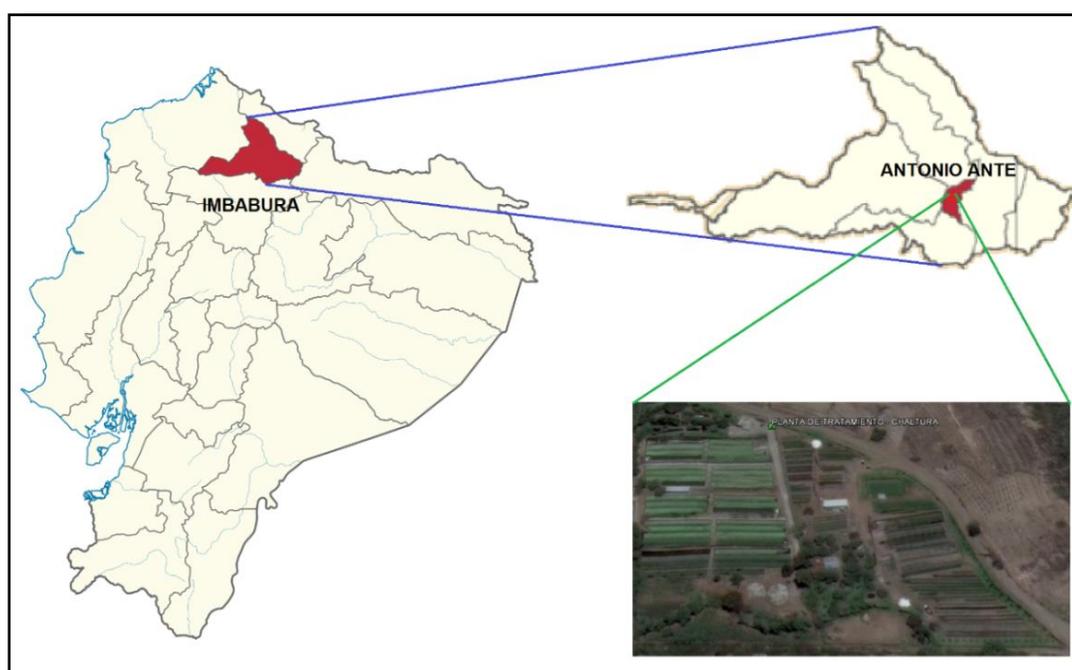


Figura 1 Ubicación del Proyecto, planta de tratamiento – Chaltura

1.7 MARCO LEGAL

- Constitución de la República del Ecuador en el Art. 264 establece que los gobiernos municipales se encargan de la depuración de las aguas residuales.

- Ley Orgánica de recursos hídricos. Usos y aprovechamiento del agua en la que se considera como servicio público básico en el Art. 37 y 38 el tratamiento y la disposición final de las aguas residuales. En su Art. 80 la prohibición de desechar aguas residuales que dañen el recurso hídrico.
- Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente: Norma Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. En el que establece los criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego que rige en todo el territorio Nacional.
- NTE INEN 2169:98 Agua: Calidad del agua. Muestreo, manejo y conservación de las muestras.
- NTE INEN 1205:2013 Agua: Análisis de coliformes.

1.8 ESTADO DEL ARTE

Existen varios trabajos realizados hasta la fecha que abordan la planta de tratamiento de San José de Chaltura o la problemática contaminación de aguas residuales por presencia de coliformes. La compilación de los resultados de otras investigaciones ejecutadas recientemente sobre el tema desarrollado se enuncia en el siguiente estado del arte:

Cabrera y Pulla (2014) establecieron la Línea Base para el aprovechamiento de microalgas de sistemas de tratamiento de agua residual creando biocombustibles producido mediante la transesterificación de lípidos extraídos de microalgas, con una huella de carbono neutral. El cultivo en aguas residuales domésticas, normalmente ricas en nutrientes, además de cumplir una función depuradora, constituye una práctica altamente viable y energéticamente sustentable.

Mantilla, P. (2017), realizó la evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales con macrofitas flotantes de las parroquias Chaltura y Natabuela, del cantón Antonio Ante, de la provincia de Imbabura, estableciendo el caudal promedio que recibe, el tiempo de retención y parámetros cuyo resultado del análisis refleja que se encuentran dentro de los valores normados a diferencia de los coliformes fecales que tiene un resultado mayor al establecido en la normativa.

Donoso, D. (2015), elaboró un manejo del material vegetal Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp*) generados en la planta de tratamiento de aguas residuales en la parroquia de Chaltura concluyendo que las diferentes proporciones de Lechuguín (*E. crassipes*) Lenteja (*Lenma sp*) tienen efecto sobre el pH, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno mineral, fósforo, potasio y recuento de coliformes fecales.

Escobar (2014) valoró la variabilidad climática que afecta las actividades industriales, la planta de tratamiento de agua residual en México utiliza la implementación de sensores electrónicos que realizan mediciones en tiempo real de parámetros físico – químicos, mientras que Pico (2012)

desarrolló una red sensorial inalámbrica en el campo medioambiental proponiendo una plataforma polivalente basada en nodos sensoriales inalámbricos para medir parámetros principales de la contaminación.

Tarazona, R. y Peña, D. (2011), estudió de la remoción de coliformes en aguas naturales utilizando un filtro tipo cartucho empacado con nanocompositos de fibras de fique con nanopartículas de plata para eliminar la contaminación de las aguas. Yépez, J. (2010), realizó la evaluación de impactos ambientales ocasionados por la reconstrucción de planta de tratamiento biológico para las parroquias de Chaltura y Natabuela con una estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje, la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

El agua es considerada un recurso fundamental que se encuentra en la naturaleza como parte fundamental de la supervivencia, químicamente formada por dos elementos químicos: el hidrógeno y el oxígeno, la combinación de dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno produce este componente (López, Buitron, García, & Cervantes, 2014). Se encuentra formando océanos, mares, ríos y lagos, lugares específicos con aguas superficiales y aguas subterráneas, en estado gaseoso está en la atmosfera terrestre y en estado sólido en casquetes polares y las cumbres montañosas (Marsily, 2003).

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro para la humanidad y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos, tienen tantos contaminantes que sería prácticamente imposible analizarlos a todos. Sin embargo, ni siquiera hay necesidad de hacer esto, ya que se los puede expresar en función de un elemento o de una sustancia común que están relacionados con características importantes del líquido (Balcells & Romeral, 1997).

Las aguas que son consideradas residuales porque las características originales han sido modificadas por las actividades humanas deteriorando la calidad de la misma, por lo que es necesario un tratamiento previo según la normativa y la precaución ambiental, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. El tratamiento primario elimina los sólidos en suspensión y los materiales flotantes para llevar el agua al tratamiento secundario que comprende en tratamientos biológicos convencionales y finalmente al tratamiento terciario cuyo objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se separan con los tratamientos biológicos convencionales (Ramalho, 2003).

2.1.1 Clasificación de las aguas residuales

Conocer la procedencia de las aguas residuales podría facilitar la caracterización de la misma, intuir los efectos de la contaminación, dirigir las prácticas para poder realizar el futuro tratamiento. Entre su calificación está:

2.1.1.1 Aguas residuales blancas

Este recurso fundamental tiene una coloración blanca o casi clara que hace presumir que no tiene contaminantes, generalmente son de procedencia atmosférica y es el más cuantioso de la naturaleza, llegando a la tierra como: nieve, hielo, lluvia, o por la limpieza de las calles, los parques y los lugares públicos, mientras mayor es el suministro de agua se tiene una mayor carga de aguas residuales. Cuando las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes pueden saturar los

sistemas de tratamientos existentes por lo que es preciso desviarlas para ser evacuadas por separado (Ramalho, 2003)

2.1.1.2 Aguas residuales domésticas o aguas negras

Estas aguas se llaman así por su coloración oscura en comparación a la anterior, presentan un peligro y deben ser desechadas o tratadas, por preceder del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa, además porque están contaminadas por sustancias fecales y orinas, por desechos orgánicos de animales así como también por humanos. Por los diversos medios de contaminación estas aguas contienen gran cantidad de restos de jabones, detergentes, lejía, grasas, agentes patógenos, materia orgánica, microorganismos y la proliferación de virus que causan diversas enfermedades (Ramalho, 2003).

2.1.1.3 Aguas residuales agrícolas:

Se las define de esta manera porque la contaminación procede de las explotaciones agrícolas o ganaderas, además de la escorrentía del terreno que llevan en su flujo gran cantidad de abono, fertilizante, excremento de ganado y productos químicos de las labores agrícolas. Estas aguas son evacuadas a un sistema de tratamiento o reutilizadas para el riego agrícola en numerosos lugares con o sin una depuración previo a su utilización (Ramalho, 2003).

2.1.1.4 Aguas residuales industriales

Son el resultado de introducir contaminantes de origen mineral, químico, vegetal o animal en un efluente fruto de cualquier actividad industrial energética, minera, agroindustrial, agrícola entre otras para alterar perjudicialmente la calidad del agua, proceden del proceso realizado en fábricas o entidades industriales que producen, transforman o manipulan materia o energía. Estas aguas son de composición muy variable según las diferentes actividades industriales, contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos del proceso productivo (Ramalho, 2003).

2.1.2 Constituyentes del agua residual

Las características presentes en el agua afectada negativamente por la influencia antropogénica (agua residual), inicia con una apreciación negativa con un color negro y olor desagradable como resultado de la descomposición de la materia orgánica, el desprendimiento de gases, la proliferación de microorganismos y la reducción de sulfatos a sulfuros, en condiciones anóxicas. La concentración y el tipo de los constituyentes del agua residual pueden ser físicos, químicos y biológicos (López, Buitron, García, & Cervantes, 2014).

2.1.2.1 Constituyentes físicos del agua residual

Entre los constituyentes físicos importantes que se analizan en las aguas residuales son: color, olor, total de sólidos, temperatura, densidad, turbiedad (López, Buitron, García, & Cervantes, 2014).

- Color: es la apreciación visual recibida a través de los ojos, se tiene la percepción de mala calidad si es opaca y de buena calidad si su tonalidad es clara. Esta apreciación cualitativa responde generalmente a una coloración café-grisácea y cuando es negro se describe como séptica (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).
- Olor: esto se produce por los gases producidos y liberados mientras se realiza el proceso de descomposición de la materia orgánica. Además se debe a la presencia de sulfuro de hidrogeno producido cuando se reducen los sulfatos a sulfitos por acción de los microorganismos anaerobios (Ramalho, 2003).
- Sólidos totales: este es un importante parámetro físico que se puede presentar como materia flotante, suspendida, coloidal y disuelta, es la materia que se obtiene luego de un proceso de evaporación, que pueden ser filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) (Ramalho, 2003).

- **Temperatura:** por la procedencia o las reacciones químicas que se presentan en las aguas residuales la temperatura tiende a elevarse (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).
- **Densidad:** por la composición de las aguas residuales, esta agua contaminada tiende a ser más densa a comparación de la natural (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).
- **Turbiedad:** se tiene la presencia de contaminantes que opacan la propiedad de transmisión de la luz en el agua haciéndola más turbia, esto se debe a los materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos (Montes, 2015).

2.1.2.2 Constituyentes biológicos del agua residual

Entre los constituyentes biológicos más importantes se tienen:

- **Microorganismos:** pueden tener múltiples formas y tamaños, son organismos eucariotas (algas, hongos y protozoos), eubacterias, arqueobacterias que pueden causar enfermedades a personas, animales y plantas (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).
- **Organismos Patógenos:** entre los más dañinos tenemos a los coliformes, que son un grupo de especies bacterianas que poseen características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua. La bacteria principal de los

coliformes es la *Escherichia coli*, descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor von Escherich en 1860 considerándola como la bacteria del intestino (Pascual & Calderon, 2010).

2.1.2.3 *Constituyentes químicos del agua residual*

Entre los constituyentes químicos más importantes se tienen:

- Compuestos con fósforo: en un efluente acuoso es importante en el ámbito biológico. Sin embargo, cabe aclarar que el fósforo no está en el agua como fósforo precisamente, sino formando compuestos solubles e insolubles (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).
- Compuestos nitrogenados: estas sustancias sirven para el crecimiento de plantas, el contenido total en nitrógeno está formado por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato (Ramalho, 2003).
- Compuestos con hierro: los tipos de hierro que se analizan para el tratamiento de efluentes líquido son: hierro atómico, hierro coloidal y hierro total, el hierro soluble corresponde a la concentración de ión ferroso (Fe^{+2}) en el agua, el hierro coloidal se relaciona con la concentración de ión férrico (Fe^{+3}) en el agua, mientras que el hierro total resulta de la suma de la concentración de ión ferroso e ión férrico en el líquido. El ión férrico (Fe^{+3}) se lo conoce como coloidal precisamente porque es coloidal, es decir, su tamaño de partícula es

menor a 1 μm . Estas finas partículas no sedimentan fácilmente y originan el agua turbia (Olmos, Marqués, & Moreto, 2002).

- Compuestos organoclorados: se forman principalmente por el uso del cloro en la desinfección del agua formando tetracloruro de carbono y cloroformo. Además los compuestos con azufre son compuestos sulfatados que se reducen a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno por la presencia de bacterias en ausencia de oxígeno (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).
- Compuestos orgánicos: la sustancia común más utilizada es carbonato de calcio (CaCO_3), mientras que para reacciones redox, los elementos se cuantifican en función de oxígeno atómico (Olmos, Marqués, & Moreto, 2002).
- La Demanda Química de Oxígeno: DQO representa a toda sustancia oxidable que existe en el agua, orgánica (la materia orgánica se oxida) o inorgánica. La demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para que los organismos se coman la materia orgánica. Los organismos descontaminan el agua de forma natural, por lo que el cuello de botella de los tratamientos biológicos es la disposición de dichas toneladas de microorganismos, además de la recuperación de las toneladas de microorganismos que ya participaron del proceso (Olmos, Marqués, & Moreto, 2002) (Glynn & Heinke, 1999).

- El pH es un parámetro que permite medir la acidez o alcalinidad de la muestra según su valoración que oscila entre 1 y 14, estableciendo el valor de 7 como neutro, generalmente el agua reporta un pH entre 6,5 y 9 lo que implica que tiende a ser más alcalino que ácido. La regla del pH permite estimar cuáles son las especies relevantes, respecto a su concentración, en una solución acuosa de determinado pH (Marsily, 2003) y (Olmos, Marqués, & Moreto, 2002).
- Metales pesados: entre estos se pueden encontrar al manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), Cadmio(Cd), plomo (Pb), Zinc (Zn), entre otros que aportan beneficios para el desarrollo de la vida pero en cantidades altas son perjudiciales (López, Buitron, García, & Cervantes, 2014).

2.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A pesar del gran caudal que existe de líquido vital, solo un pequeño porcentaje (2,5 %) es agua dulce, por ello es importante realizar un tratamiento de los ríos que abastecen la necesidad de agua a las diferentes poblaciones del mundo. Las concentraciones de un líquido se clasifican en: masa/masa, masa/volumen, volumen/volumen y expresión en función de un elemento común o sustancia común (Marsily, 2003).

En el sistema de tratamiento se tiene la entrada de un afluente o influente, mientras que todo lo que sale se conoce como efluente. Naturalmente, un efluente se puede convertir en afluente de

otros procesos. Cuando el efluente es un líquido acuoso, se lo distingue como aguas servidas, las cuales pueden ser de dos naturalezas: domésticas e industriales, siendo las últimas las contaminadas por un proceso industrial (Olmos, Marqués, & Moreto, 2002).

La contaminación por aguas residuales causa daño ambiental y social, motivo por el cual se intenta disminuir la concentración de los contaminantes presentes en el recurso hídrico con un tratamiento adecuado para una reutilización posterior. El tratamiento primario se emplea para eliminar los sólidos en suspensión y los materiales flotantes para pasar a tratamiento secundario con tratamientos biológicos convencionales y finalmente un tratamiento terciario para remover contaminantes específicos (Ramalho, 2003) (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).

2.2.1 Pretratamiento

En esta etapa se extrae los grandes sólidos flotantes, la arena y en algunas ocasiones la grasa, además se mide y regula el caudal constante del fluido que ingresa a la planta de tratamiento para ser tratada. Se debe considerar que el caudal de agua contaminada producida por una comunidad es variable, existen horas en las cuales el volumen es mayor y para lograr un flujo uniforme se utiliza sistemas de regulación de caudal (Elias, 2012). Los equipos utilizados en esta fase son:

2.2.1.1 Rejillas

El agua residual contiene todo tipo de material desde arenas, grasas, papeles y sólidos de gran tamaño que llegan a la planta de tratamiento, entre los desperdicios y residuos que son traídos a la planta están: trapos, plásticos, latas, ramas, piedras, botellas, ladrillos. Las rejillas mecánicas son ubicadas transversalmente al flujo y la función es retener todos estos sólidos gruesos que se almacenaran en pozos para luego transportarlos a contenedores y finalmente a un vertedero o llevarlos a incineración (Elias, 2012; Ramalho, 2003).



Figura 2 Rejilla de desbaste.
Fuente: (Ramalho, 2003)

- Desbaste fino: con separación libre entre barrotes de 10 - 25 mm.
- Desbaste grueso: con separación libre entre barrotes de 50 - 100 mm. En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea:
- Reja de gruesos: entre 12 - 25 mm.
- Reja de finos: entre 6 - 12 mm. También tenemos que distinguir entre los tipos de limpieza de rejas igual para finos que para gruesos:
- Rejas de limpieza manual
- Rejas de limpieza automática

2.2.1.2 Desarenadores

Son de uso obligatorio en las plantas que tienen sedimentadores y digestores, buscan eliminar la grava, ceniza y arena porque puede dañar los equipos, conducciones o las tuberías e incluso ocasionar el mal funcionamiento de las bombas. Las zonas de un desarenador es el canal de ingreso, la zona de entrada, naves desarenadores y zona de salida, el agua entra tangencialmente generando un remolino y la arena se concentra en el fondo para pasar a los lavadores, el producto de esto es llevado a un tratamiento adicional en un relleno sanitario, estos pueden ser: (Cabildo, García, & Pérez, 2012) (Orozco, 2005)

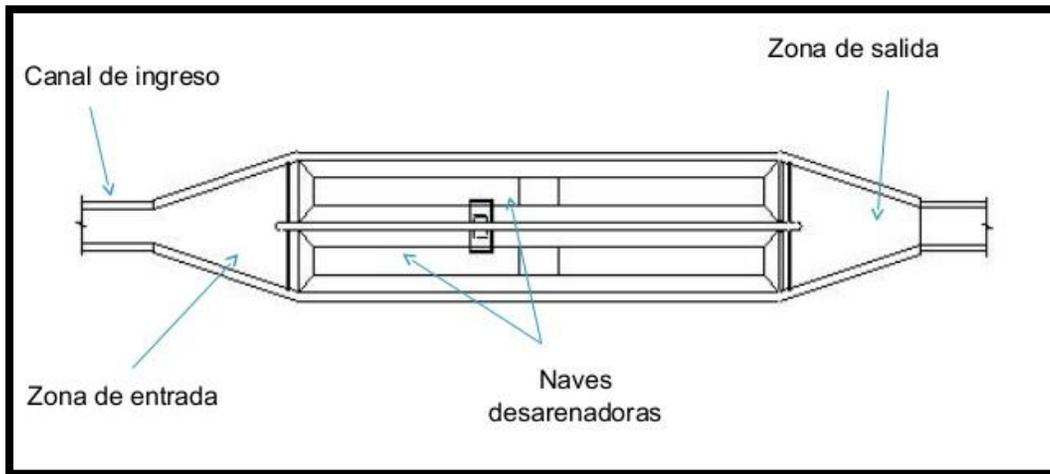


Figura 3 Partes de un desarenador.
Fuente: (Cabildo, García, & Pérez, 2012)

- Desarenador convencional: es de flujo horizontal y tienen forma rectangular y alargada, las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con la que son transportadas, se usan en instalaciones de plantas depuradoras de pequeñas poblaciones.
- Desarenador de flujo vertical: son tanques provistos generalmente de bombas que permiten que el flujo llegue desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube.
- Desarenador tipo vórtice: Esta maquinaria tiene bombas de aire o equipos soplantes que provocan que el flujo forme una corriente espiral, la formación del remolino inducido mecánicamente atrapan los sólidos en la tolva central de un tanque circular.

2.2.1.3 Desgrasadores

Son equipos que tienen como función eliminar las grasas y los aceites que flotan en las aguas residuales, que se quedan atrapados dentro del tanque. En esta operación se tiene una separación líquido – líquido, en caso de no eliminar las grasas y los aceites el tratamiento biológico se ralentice y el rendimiento baja, obteniendo un efluente de baja calidad. Existen dos tipos cuyo sistema se basa en aireación o decantación, siendo éste último sólo aconsejable cuando son bajos caudales o con una carga baja-media de grasas en el agua (Cabildo, García, & Pérez, 2012).

2.2.2 Tratamiento Primario

En el tratamiento preliminar se puede incluir la pre aireación y de excluirle, es en esta fase donde prima su utilización porque permite eliminar compuestos volátiles presentes en el agua servida que generan el mal olor característico, además de ayudar en las etapas siguientes del proceso de tratamiento. En esta etapa se tiene la remoción de sólidos suspendidos, totales y coloidales (Orozco, 2005).

Sólidos sedimentables: son sólidos de mayor densidad por lo que precipitan en el fondo del decantador por acción de la gravedad. Éstos, son evacuados periódicamente y destinados a convertirse en abono para la agricultura (Orozco, 2005).

Sólidos flotantes: los sólidos flotantes durante el tratamiento primario de las aguas residuales presentan menor densidad, por lo que flotan de manera natural cuando el agua residual está en reposo. Son eliminados mediante una serie de rasquetas que arrastran las partículas desde la periferia al centro del decantador (Orozco, 2005).

Sólidos coloidales: son muy estables y no se aprecian a simple vista ya que tienen un tamaño entre 0,001 y 10 micras, son responsables de la turbidez del agua residual (Ramos, Marqués, & Villalobos, 2002).

Debido a su estabilidad en el agua residual no es posible eliminarlos mediante decantación, flotación o filtración, en un primer momento, sino que se recurre a la coagulación y floculación. La coagulación consiste en verter un coagulante en el agua residual para eliminar las cargas eléctricas negativas. A continuación por medio de floculantes y la inyección de aire las partículas se agrupan. Estos flóculos ya descargados son eliminados según su densidad por medio de decantación o flotación, si en el uso de químicos se tiene un producto ácido se realiza una neutralización (Ramalho, 2003) (Weber & Weber, 2003). Los equipos utilizados en esta fase son:

2.2.2.1 Sedimentadores:

Estos equipos son utilizados cuando el agua de entrada tiene un alto nivel de sólidos en suspensión que es necesario reducirlos para que los tratamientos de oxidación o biológicos puedan ser eficientes. La separación se realiza por medio de un proceso de sedimentación simple por

gravedad o asistida agregando compuestos químicos (coagulantes, floculantes, sales de hierro y aluminio, cal), en esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión o en estado coloide, así como precipita el fósforo. Existen varios modelos de según el caudal que se va a tratar, además del sitio de trabajo en la planta de tratamiento pueden ser circular, cuadrada a rectangular (Cabildo, García, & Pérez, 2012) (Weber & Weber, 2003).

- Rectangular: Son de sección rectangular en los que el agua fluye horizontalmente de un extremo a otro del sedimentador (Cabildo, García, & Pérez, 2012).
- Circular: están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen tasas de sedimentación de 0,3 a 0,7 mm/s. Asimismo, el período de retención es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m (Cabildo, García, & Pérez, 2012).

Luego de esto se tiene biodigestores que se encargan del tratamiento de los lodos, además una vez se realizó el tratamiento primario de las aguas residuales, y por tanto, eliminados los sólidos suspendidos, se corrige la alcalinidad o acidez del pH del agua residual añadiendo ácidos o bases al agua residual, ya que un pH demasiado alto o bajo que puede dificultar la acción de los microorganismos del tratamiento biológico o secundario, posteriormente se aplica el tratamiento terciario de las aguas residuales (Orozco, 2005)

2.2.3 Tratamiento Secundario

Este proceso biológico natural de las aguas residuales se inició en el siglo XIX tiene como objetivo principal la degradación de materia orgánica en el fluido que sale del tratamiento primario procurando una concentración de microorganismos descomponedores de materia orgánica en un reactor, para luego utilizar sedimentadores utilizando la gravedad para remover los microorganismos que pueden ser retornados al reactor o la eliminación del proceso (Orozco, 2005). Entre los equipos se tiene:

2.2.3.1 Reactor

Participan en el reactor o cuba de aireación los microorganismos presentes en el agua residual y microorganismos adicionales principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación en anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que hay que buscar eliminarlos (Weber & Weber, 2003).

2.2.3.2 Decantador secundario

El objetivo de este decantador es sedimentar los lodos biológicos y las naftas que se depositan o flotan en forma de biomasa (flóculos bacterianos producidos en el reactor). El sedimento que se depositan en la forma cónica del sedimentador denomina fango activo (Weber & Weber, 2003).

Los microorganismos del reactor aireado pueden estar en suspensión en el agua (procesos de crecimiento suspendido o fangos activados), adheridos a un medio de suspensión (procesos de crecimiento adherido) o distribuidos en un sistema mixto (procesos de crecimiento mixto) (Weber & Weber, 2003). Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación, sistemas de digestión de fangos, fitorremediación acuática (Weber & Weber, 2003)

Las aguas residuales se preservan estableciendo medidas de control. Para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos residuales con el uso de plantas acuáticas se debe tener en consideración criterios que se aplicarán en base a los resultados obtenidos de análisis físico – químicos. Así, queda claro que un diseño no consiste únicamente en la aplicación de fórmulas, sino también en la ejecución de ensayos de laboratorio con los que se determinarán los parámetros óptimos y la combinación de plantas acuáticas (Marsily, 2003) (Ramalho, 2003).

Los sistemas de plantas acuáticas flotantes o sumergidas se desarrollan en los estanques poco profundos y según el tipo de plantas dominantes se puede diferenciar: el sistema que usa plantas flotantes (reciben sus nutrientes minerales desde el agua) y el que usa plantas sumergidas (absorben el oxígeno, dióxido de carbono, y minerales desde el agua) que produce mayor turbidez en el agua porque las partes fotosintéticas están debajo del agua (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.3.3 Fitorremediación acuática

Este proceso representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados, en este proceso se usa plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, el método se basa en tener un flujo controlado de agua residual. Estos mecanismos pueden ser lagunajes, humedales y cultivos acuáticos que se proyectan a tener un flujo continuo de descarga (Moreno , 2008).

2.2.4 Tratamiento Terciario

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en curso de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará (Orozco & Perez, 2011).

2.2.4.1 Cloración

El cloro es un gas amarillo verdoso, tiene un olor irritante, es tóxico y produce efectos considerados nocivos sobre el organismo humano, en estado líquido es de color amarillo miscible

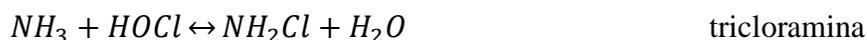
en el agua y es muy utilizado como tratamiento terciario en aguas residuales industriales y urbanas porque: (Weber & Weber, 2003)

- Destruye e inhibe el crecimiento de bacterias y algas por su poder desinfectante
- Reduce la demanda Bioquímica de Oxígeno por la oxidación de los compuestos orgánicos que se encuentran en las aguas residuales.
- Elimina y reduce los colores y olores por la oxidación de los compuestos químicos que los producen.
- Oxidación de los iones metálicos que se presentan en forma reducida son oxidadas por el cloro.
- Oxidación de cianuros a productos inocuos

Las reacciones que se producen en el cloro con el agua son:



El HOCl es un ácido débil y al no disociarse se tiene cloro residual. En presencia de amoníaco, el ácido hipocloroso reacciona con el amoníaco para formar monocloramina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno según el pH y la concentración del NH₃ según las siguientes reacciones: (Weber & Weber, 2003)



La formación de los compuestos anteriores genera los malos olores y sabores desagradables del agua, además de tener una capacidad desinfectante inferior a la del cloro, la cantidad de cloro que se va añadiendo genera otros compuestos orgánicos clorados, por ello es importante realizar un análisis de la concentración requerida en la desinfección y la factibilidad de una descloración posterior. En la figura 4 se observa las reacciones de cloro en el agua y la formación de los diferentes compuestos según la concentración del reactivo que se va agregando a la solución (Ribas & Fonfría , 2009).

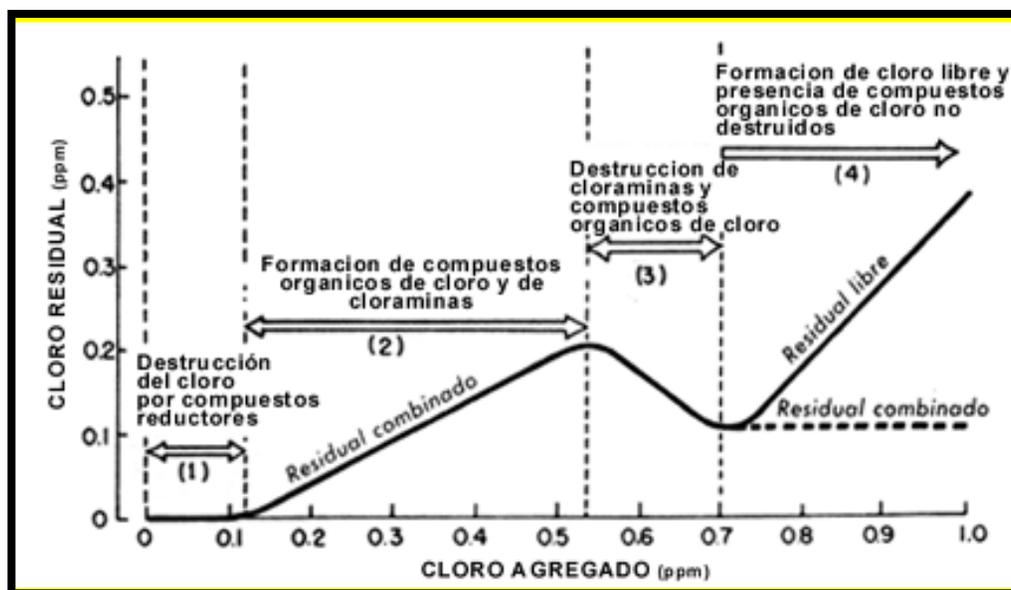


Figura 4 Reacciones del cloro en el agua.

Fuente: (Ribas & Fonfría , 2009)

De acuerdo a la Figura 4 luego de la dosificación óptima de cloro (Fase I) este se consume con la materia orgánica presente en el agua generando una descontaminación de coliformes particularmente, al tener una superación de esta concentración se tiene la presencia de cloro residual (Fase II) en la que se tiene la formación de compuestos orgánicos de cloro y de cloraminas.

En la siguiente etapa (Fase III) se intenta clorar la cloramina, y el amoníaco libera un átomo de hidrógeno y el cloro ocupa hasta superar el nivel ideal de desinfección por cloramina hasta producir tricloroaminación, (Fase IV), en la que se tendrá problemas de sabor y olor requiriendo una descloración.

La concentración estimada para en cloro en aguas residuales en el tratamiento secundario según (Ramalho, 2003) esta entre 5-20 mg/L para remoción de 99% de coliformes, considerando la ley de Chick responde a una reacción de primer orden cuya velocidad de eliminación está dada por:

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt}$$

Donde: N= concentración final

N₀= concentración inicial

K= constante de reacción

t= tiempo de reacción

La aplicación de estos fundamentos garantiza la disminución de la concentración de los microorganismos (coliformes) al 99%, dando los valores requeridos por esta ecuación. El valor de la constante de reacción, K , oscila entre $0,24 \text{ min}^{-1}$ a $6,3 \text{ min}^{-1}$, mientras que la temperatura de solución permitida esta entre 0°C - 10°C . Para garantizar la efectividad del proceso se debe utilizar contacto continuo en la que se asume condiciones de equilibrio y una mezcla completa con agitación constante durante el tiempo calculado (Ramalho, 2003).

Entre las desventajas de la cloración se puede enumerar:

- Es un método ideal para PTAR de baja capacidad (20L/s) pero se debe asegurar la importación de cloro o el acceso a la materia prima (Cloro) en la presentación establecida.
- Requiere mantenimiento, supervisión y operarios según lo requerido por el diseño del tratamiento.
- Formación de cloraminas, dicloraminas, tricloraminas que pueden ser perjudiciales según su concentración y pueden requerir descloración.

2.3 PLANTAS ACUÁTICAS

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, estas plantas tienen la capacidad de transferir oxígeno, se pueden encontrar 4 tipos de plantas acuáticas (de aguas profundas, flotantes, oxigenadoras, de ribera o palustres) y un quinto grupo adicional de plantas recomendables para ubicar próximas a un estanque (Moreno , 2008).

2.3.1 Emergentes

La raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua, las pruebas realizadas para evaluar la capacidad de depurar el agua reportaron resultados positivos, entre los ejemplares usados en la construcción de sistemas artificiales están el *Juncus sp.*, *Arundo donax*, *Typha domingensis*, *Coccoloba sculenta*, *Phragmites australis*, *Calla palustris*, entre otros (Moreno , 2008) .

2.3.2 Sumergidas

Se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas, pueden ser parte de un sustrato para el crecimiento bacteriano, medio para la filtración y adsorción de sólidos y bio absorción y acumulación de contaminantes, como: *Myriophyllum spicatum*, *Cyperus sp.*, *Ceratophyllum demersum*, *Callitriche stagnatili*, entre otros (Moreno , 2008).

2.3.2.1. *Cyperus helferi*

Es una planta originaria de la India, fue difundida por primera vez por Takashi Amano en su serie Nature Aquarium World, es una de las pocas plantas de su género que puede adaptarse a la vida sumergida en agua estancada o de flujo lento, crece aproximadamente 30 cm de largo con hojas largas, delgadas y fluidas que se arquean elegantemente sobre la columna de agua y es fácil

de cultivar una vez que ha pasado su largo período de aclimatación en lugares con iluminación de moderada (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) .

El crecimiento de esta planta es óptimo entre 20 °C a 25 °C y estará estimulado en aguas que contengan abundantes nitratos, fosfatos, potasio y micronutrientes que crean un crecimiento más rápido y robusto. Para propagar esta especie, tome una de estas plantas hijas y sepárela de la planta madre con unas tijeras afiladas y vuelva a plantarla (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010). En la Figura 4 se muestra la planta *Cyperus*.

Tabla 1

Taxonomía de la planta Cyperus Helferi

| | |
|-------------------|------------------------|
| Especie | <i>Cyperus Helferi</i> |
| Genero | <i>Cyperus</i> |
| Subfamilia | <i>Cyperoideae</i> |
| Familia | <i>Cyperaceae</i> |
| Orden | <i>Poales</i> |
| Subclase | <i>Commelinidae</i> |
| Clase | <i>Liliopsida</i> |
| Filo o división | <i>Magnoliophyta</i> |
| Reino | <i>Plantae</i> |
| Nombre científico | <i>Cyperus Helferi</i> |



Figura 5 Cyperus Hesperis

2.3.3 Flotantes

Estas plantas tienen la capacidad de transferir oxígeno desde sus partes superiores hasta su raíz produciendo una zona aerobia en sus alrededores que favorece los distintos procesos que ocurren durante el tratamiento de aguas residuales. Se subdividen en dos grupos: a) Plantas de libre flotación (no fijas) y plantas de hoja flotante (fijas). Como el *Eichhornia crassipes*, *Pistia Stratio*, *Lemna*, *Azolla*, entre otros (Moreno , 2008).

Las plantas flotantes que generalmente son utilizadas para el tratamiento secundario de aguas residuales: *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua), *Salvinia auriculata* (Oreja de elefante), *Hydrocharis morsus-ranae* (Mordisco de rana), *Stratiotes aloides* (Pita de agua), *Lemna minor* (Lenteja de agua), estas plantas acuáticas se multiplican con gran rapidez para luego flotar en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua en lugar de

arraigadas en macetas o en el fondo. Además estas plantas atenúan la luz del sol y así pueden evitar el crecimiento de algas suspendidas, reducen los efectos del viento sobre el agua, reducen la transferencia de gases y calor entre la atmosfera y el agua, transfieren oxígeno desde las hojas a la raíz, además acumulan contaminantes (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.3.3.1. *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

Gonzalo (2013), menciona que probablemente la evolución de las plantas que primitivamente ascendieron a las superficies terrestres por el retroceso de los mares y crearon diversas adaptaciones que dieron origen a las macrofitas acuáticas, entre estas el Jacinto de agua (Bracamonte & Medina, 2002).

Esta planta de procedencia Brasileña es considerada como invasiva, la reproducción es por medio de semilla y generalmente por los estolones, se adapta a bajas temperaturas y forma grandes colonias de planta que impiden el paso de la luz solar a los estanques pero se prolifera las larvas de mosquito. La flor dura 24 a 48 horas y se tiene solo a principios de verano y según los resultados científicos reportan que el Jacinto remueve del agua contaminada nitrógeno, fosforo, potasio, metales pesados (cobre y plomo) (Buczacki, 2005) (Bracamonte & Medina, 2002).

Tabla 2

Taxonomía de la planta Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)

| | |
|-------------------|-----------------------------|
| Especie | <i>Eichhornia crassipes</i> |
| Genero | <i>Eichhornia</i> |
| Familia | <i>Pontederiaceae</i> |
| Orden | <i>Commelinales</i> |
| Clase | <i>Liliopsida</i> |
| Filo o división | <i>Magnoliophyta</i> |
| Reino | <i>Plantae</i> |
| Nombre científico | <i>Eichhornia crassipes</i> |



Figura 6 *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

2.3.3.2. *Azolla caroliniana* (Helecho de agua)

Esta planta es un helecho acuático flotante, con raíces cortas y de hojas pequeñas, su propagación es rápida y cubre la superficie del receptáculo hídrico que lo contenga, por lo que impide la incidencia de la luz solar al fluido en el que reposa. Este género se reproduce asexualmente por esporas, tiene gran capacidad para fijar el nitrógeno del aire por lo que luego de su vida útil es utilizado como abono orgánico (Buczacki, 2005) (Bracamonte & Medina, 2002).

Tabla 3

Taxonomía de la planta Azolla caroliniana (Helecho de agua)

| | |
|-------------------|---------------------------|
| Especie | <i>Azolla caroliniana</i> |
| Genero | <i>Azolla</i> |
| Subfamilia | <i>Salviniaceae</i> |
| Familia | <i>Azollaceae</i> |
| Orden | <i>Salviniales</i> |
| Clase | <i>Pteridopsida</i> |
| Filo o división | <i>Pteridophyta</i> |
| Reino | <i>Plantae</i> |
| Nombre científico | <i>Azolla caroliniana</i> |



Figura 7 *Azolla caroliniana* (Helecho de agua)

2.3.3.3. *Lemna minor* (Lenteja de agua)

La lenteja de agua vive sobre la superficie y la raíz está sumergida dentro del agua, por lo que tienen la capacidad de absorber nutrientes ayudando a mejorar la calidad del agua, en un estanque no se utiliza más del 30% de la superficie por su fácil propagación. Luego de estar en contacto con el agua se la puede tratar para ser manipulada como abono orgánico, esta planta es de hojas ovaladas, color verde oscuro, abunda en áreas naturales por su rápido crecimiento por lo que en ocasiones es considerada una plaga, evitan el paso de luz al estanque, el crecimiento se da entre temperaturas de 15 °C a 30 °C, con exposición lumínica intensa, esta especie es muy utilizada para el tratamiento de aguas residuales por su eficiencia de absorción de contaminantes del acuífero (Buczacki, 2005) (Bracamonte & Medina, 2002).

Tabla 4

Taxonomía de la planta Lemma minor (Lenteja de agua)

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| Especie | <i>Lemma minor</i> |
| Genero | <i>Lemma</i> |
| Subfamilia | <i>Lemnoideae</i> |
| Familia | <i>Araceae</i> |
| Orden | <i>Alismatales</i> |
| Clase | <i>Liliopsida</i> |
| Filo o división | <i>Fanerògama Magnoliophyta</i> |
| Reino | <i>Planntae</i> |



Figura 8 *Lemma minor* (Lenteja de agua)

CAPITULO III

TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

3.1 DIAGNÓSTICO DE LOS PROBLEMAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CHALTURA

3.1.1 Descripción General

Se describió el lugar de estudio exponiendo antecedentes relevantes del cantón Antonio Ante, de manera particular de la parroquia de San José de Chaltura del cantón Antonio Ante, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial parroquial (PDOT). Se definió las vertientes con sus respectivos flujos que originan las aguas residuales que fueron utilizadas en la Planta de tratamiento ubicada en San José de Chaltura.

3.1.2 Procesos de la planta de tratamiento.

Se enunció de manera breve el tratamiento preliminar para eliminar los sólidos gruesos con el cajón de rejillas, el desarenador y el repartidor de caudal y luego el tratamiento primario que consta de los dos tanques sedimentadores de forma circular y finalmente se detalló el tratamiento secundario explicando el número de plataformas, el número de estanques, las plantas acuáticas utilizadas por el momento para la descontaminación del agua residual.

3.1.3 Análisis de los parámetros en la evaluación preliminar

En el diagnóstico inicial de la planta de tratamiento de San José de Chaltura, se delineo detalles de los análisis de caudal promedio que son reportados a diario por el encargado del proceso, el tiempo de retención que establecido por la división simple del volumen del fluido contenido en los estanques (5000 m^3) para el caudal promedio. Además entre los análisis de laboratorio realizados en la planta de tratamiento se especificaran:

3.1.3.1 *DBO₅*

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en un período de cinco días a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ para estabilizar en condiciones aeróbicas la materia orgánica biodegradable. Esta medida se tomó por triplicado según el método descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1202:2013 que tiene como base de estudio Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 5210. Biochemical Oxygen Demand. 22nd edition (Baltimore, 2012).

En el proceso se inoculó un litro de solución de agua destilada saturada a temperatura aproximada de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ mezclada con 1 cm^3 de solución amortiguadora de fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico con el inóculo más satisfactorio para el agua analizada. La muestra debe ser libre de cloro para lo que se dejó en reposo (1 a 2 horas), para eliminar la presencia de cloro residual o se utilizó Na_2SO_3 , se mantiene a temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ y pH

entre 6 y 8 (se usa H_2SO_4 y NaOH según convenga), luego se preparó las diluciones inoculadas (INEN 1202:2013, 2013).

Las diluciones y el testigo se incubó por 5 d a 20°C en frascos con un sello hidráulico, luego se determinó el Oxígeno Disuelto en las muestras incubadas y en el testigo, aplicando la modificación al nitruro, del método de Winkler considerando de mayor confianza las diluciones con Oxígeno Disuelto residual mínimo de 1 - 2 mg/L como mínimo. Si se inoculó el testigo, se corrigió procurando una disminución del 40 % al 70 % del oxígeno del inóculo (INEN 1202:2013, 2013).

3.1.3.2 DQO

La demanda química de oxígeno se determinó de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1203:2013 que tiene como base de estudio Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 5220 Chemical Oxygen Demand. 22nd edition. La muestra fue sometida a reflujo con exceso de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (dicromato de potasio) en H_2SO_4 (ácido sulfúrico), luego el dicromato de potasio remanente se tituló para determinar la cantidad reducida utilizando sulfato ferroso, amonio usando ferroín como indicador y se considera que la cantidad de materia orgánica oxidable es proporcional al dicromato consumido (Baltimore, 2012).

Para el análisis se colocó 50 cm^3 de muestra en un matraz erlenmeyer de reflujo de 500 cm^3 con pedazos de piedra pómez o perlas de vidrio, 1 g de HgSO_4 y lentamente y con agitación añadir

5 cm³ del reactivo de ácido sulfúrico, luego se enfría para evitar pérdidas de sustancias volátiles de la muestra mientras se agrega 25 cm³ de K₂Cr₂O₇ 0,25 N. Seguido se conecta el matraz al condensador, se calienta la mezcla y se mantiene el reflujo por 2 h, se diluye la mezcla aproximadamente al doble con agua destilada para titular con solución de sulfato ferroso y amonio usando 2 a 3 gotas de indicador ferroín hasta tener un cambio de color azul verdoso a café – rojizo (NTE INEN 1203:2013, 2013)

3.1.3.3 Coliformes totales

Este análisis se realizó por triplicado por la determinación más probable con tubos múltiples según la NTE INEN 1205:32013, se preparó soluciones de 10⁻¹ (450 mL de agua peptonada con 50 mL de muestra), 10⁻² (90 mL de agua peptonada con 10 mL de muestra), 10⁻³ (10 mL de la solución anterior con 90 mL de agua peptonada). Se colocó en un tubo de ensayo aproximadamente 10 cm³ de caldo lauril triptosa para luego poner un tubo de 2 cm³ invertido con 1 cm³ de las soluciones anteriores por separado. Luego se llevó los tubos de ensayo tapados a 35 °C por 24 horas para luego confirmar si existe producción de gas (NTE INEN 1205:2013).

3.1.3.4 Coliformes fecales

Si en el resultado de coliformes totales da positivo se analiza por triplicado la prueba confirmatoria de *Escherichia coli* siguiendo el método detallado en la NTE INEN 1205: 2013 según la determinación más probable de bacterias con tubos múltiples, para esto se transfiere el fluido

de 2 a 3 tubos positivos obtenido durante la prueba anterior y se incubó a $44,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ durante 24 a 48 h, considerando como positivos los tubos que presenten turbidez y producción de gas.

Luego se inoculó a dos tubos con caldo *Escherichia coli* a una temperatura aproximada de 35°C por 24 horas para luego adicionar el reactivo Kovac para luego irradiar con una fuente de luz UV, observar la fluorescencia y realizar la lectura (NTE INEN 1205:2013).

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES Y COMBINACIONES DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO SECUNDARIO

Se analizó a escala piloto el tratamiento secundario, los estanques se reemplazaron por reactores de dimensiones (0,50 X 0,30 X 0,30) cm^3 de largo, ancho y profundidad respectivamente. Para esta investigación se utilizó plantas acuáticas: Lenteja de agua (*Lemna minor*), Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), Helecho de agua (*Azolla caroliniana*) y Cyperus (*Cyperus helferi*).

En este proceso se combinó las plantas acuáticas para estudiar por triplicado el crecimiento y la efectividad en los reactores por 15 días (los días: 0, 7, 12, 15) de experimentación. Se analizó los resultados con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión los coliformes fecales, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) para establecer la mejor combinación para disminuir el valor de los coliformes.

3.2.1 DBO₅

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) fue determinado por triplicado según el acápite 3.1.3.1.

3.2.2 DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se evaluó por triplicado según el acápite 3.1.3.2.

3.2.3 Coliformes totales

Los coliformes totales se analizó por triplicado siguiendo la metodología descrita en el acápite 3.1.3.3.

3.2.4 Coliformes fecales

Es estudio de los coliformes fecales se determinó según el método detallado en el acápite 3.1.3.4.

3.3 PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CHALTURA

Luego de establecer en el punto anterior la mejor combinación de las plantas acuáticas, se analizó organizando cuatro reactores conectados en serie simulando la situación real en planta de tratamiento (plataforma con sus estanques), manteniendo el tiempo de retención promedio de 6,39 días calculado en el sistema.

Se analizó por triplicado la efectividad en los reactores por 15 días (los días: 0, 5, 10, 13, 15). Se realizó un análisis químico DBO₅, DQO y estudio microbiológico de los coliformes fecales, coliformes totales.

Además con sensores ambientales se registró a diario durante los quince días por triplicado la humedad relativa (HR), presión barométrica, temperatura ambiente, temperatura del reactor, oxígeno disuelto, conductividad, pH. Estos datos se estudiaron con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión.

3.3.1 DBO₅

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) se registró por triplicado según el acápite 3.1.3.1.

3.3.2 DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se evaluó por triplicado según el acápite 3.1.3.2

3.3.3 Coliformes totales

Se analizó los coliformes totales siguiendo la metodología del acápite 3.1.3.3.

3.3.4 Coliformes fecales

Para determinar los coliformes fecales se utilizó el método descrito en el acápite 3.1.3.4

3.3.5 Sensores ambientales

Se registró por triplicado a diario durante los quince días de análisis con sensores ambientales los siguientes parámetros.

3.3.5.1 *Humedad relativa*

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que se encuentra contenida en el aire en un instante dado, es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en

relación con la densidad de vapor de saturación. Para el análisis se usó un higrómetro de capacidad 25 % hasta 95 %, de sensibilidad 1 % y luego registrar el valor medido.

3.3.5.2 *Presión Barométrica*

La presión es la fuerza ejercida sobre una superficie, de manera particular la presión barométrica es el peso de la atmósfera en un área determinada en la Tierra, para esto se utilizó un barómetro con capacidad desde 100 KPa hasta 200 KPa con sensibilidad de 1 Pa.

3.3.5.3 *Temperatura Ambiente*

La temperatura es una magnitud para cuantificar el calor, o valorar la energía interna conocida como energía cinética según el movimiento de las partículas del sistema o la vibración de las mismas. Este estudio se lo efectuó mediante un termómetro de capacidad 0 - 100 °C con sensibilidad 0,1 °C.

3.3.5.4 *Temperatura del reactor*

Para determinar la temperatura del reactor se utilizó el método descrito en el acápite 3.3.5.3, con la diferencia de emplear 25 mL del agua residual analizada en el reactor.

3.3.5.5 Oxígeno disuelto

El estudio del oxígeno disuelto mide la cantidad de O_2 en una solución, se introduce en el agua por difusión a través del aire que circunda en la muestra analizada. Para esto se empleó un medidor de oxígeno disuelto de capacidad aproximada 0 mg/L - 20 mg/L y sensibilidad 1 mg/L.

3.3.5.6 Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, por lo tanto es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua, proviene de un ácido, una base o una sal disociada en iones. La conductividad de una solución se debe a la concentración de las sales (Ojeda, 2007).

Se empleó un conductímetro de capacidad 0 $\mu S/cm$ a 2000 $\mu S/cm$, utilizando aproximadamente 25 mL de la muestra de agua.

3.3.5.7 Potencial de Hidrógeno

Es una medida de acidez o alcalinidad de una solución tratante, indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas muestras. La escala va desde 0 a 14; siendo básicas con valores menores que 7 y consideradas alcalinas con pH superior a 7 y neutra cuando su pH es igual a 7 (Ojeda, 2007).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CHALTURA

4.1.1 Descripción General

Chaltura se encuentra ubicada entre 1880 a 2240 m.s.n.m. con una temperatura que entre 14 °C a 17 °C. El aire de la parroquia es contaminado por el uso de productos agroquímicos que son utilizados en la agricultura, la incineración de escombros o basura o el empleo de gallinaza, abonos químicos y fertilizantes. El relieve es considerado en su mayoría como levemente ondulado presentando pendiente en la mayor parte del terreno, su clima es cálido en el día mientras que en la noche es frío nublado (PDOT parroquial San José de Chaltura).

La textura franca favorece al drenaje interno, el suelo que predomina en su mayoría es los Inceptisoles para luego seguir los Entisoles según la clasificación de suelos “Soil Taxonomía, USDA, 1975”, adoptado por el PRONAREG, el nivel de productividad bajo responde al mal manejo del suelo, a la costumbre de monocultivo, entre otros factores (Cevallos, 2011).

Según el Municipio de Antonio Ante la parroquia cuenta con una planta de tratamiento biológico para aguas residuales con una capacidad calculada para finales del 2028 de 10,53 L/s, está construida en un terreno de aproximadamente 20 000 m², que garantizan el acceso de agua de riego para la agricultura de la zona, o para las parroquias y ciudades cercanas.

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en Chaltura, una de las 4 parroquias rurales del cantón Antonio Ante y llega 9 L/s para Chaltura como porcentaje del flujo de tres vertientes San Martha (24 L/s), San Juan Poglio (16 L/s) y Perafán (14 L/s), además del pozo profundo (10 L/s).

4.1.2 Procesos de la planta de tratamiento.

En la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura se diferencian 3 procesos: el pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario que cumplen con objetivos específicos para lograr la descontaminación. Según (Elias, 2012) el agua residual tratada sirve para una futura reutilización está dado por: consumo para usos agrícolas (45 – 70) %, para usos industriales (15 – 20) % y servicios municipales (8 – 15) %, en este caso toda el agua tratada es utilizada para usos agrícolas.

4.1.2.1 *Pretratamiento*

Según (Ramalho, 2003) este proceso permite acondicionar el agua eliminando sólidos gruesos, arenas, plástico, botellas y otros materiales que llegan con la corriente a la planta, para garantizar la eficiencia del tratamiento posterior, el efluente entra a la planta de tratamiento para la remoción de sólidos al cajón con las rejillas, para luego pasar al desarenador y finalmente al repartidor de caudal, como se muestra en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11 respectivamente.



Figura 9 Cajón con rejilla.
Fuente: (Mantilla, 2017)

El ingreso de las aguas residuales a la planta de tratamiento inicia con el paso por un cajón con dimensiones aproximadas de 2,4 m de largo, 2,2 m de ancho y 1,5 m de profundidad que tiene en su estructura rejillas de 1 m altura y 0,84 m de ancho dispuestas con un ángulo de inclinación de

45 ° y con varillas circulares de 12 mm de diámetro 12 mm separadas 10 mm entre ellas, además se estima una velocidad de ingreso aproximada de 0,67 m/s. El cajón con rejillas en el proceso de desbaste tiene la finalidad de facilitar y mejorar la eficiencia del tratamiento posterior eliminando los sólidos gruesos (Elias, 2012).



Figura 10 Desarenador.

Fuente: (Mantilla, 2017)

Según (Elias, 2012), este equipo tiene como finalidad remover las arenas y sólidos suspendidos de menor diámetro que se encuentra en el flujo, las partículas que flotan se eliminan manualmente. En la planta de tratamiento el desarenador está construido en hormigón armado y las dimensiones aproximadas son de 3 m de largo, 1,7 m de ancho y 1,6 m de profundidad.



Figura 11 Cajón regulador de caudal.
Fuente: (Mantilla, 2017)

En la Figura 11, se observa el cajón regulador de la planta cuyo objetivo es medir el caudal que ingresa a los sedimentadores, las medidas tomadas fueron de 3,7 m de largo, 1,9 m de ancho y 1,2 m de profundidad, contiene dos cámaras que distribuyen un flujo igual al tratamiento posterior, los lodos producidos por sólidos finos que pasaron el desarenador se depositan en la parte inferior para luego ser removidos y tratados por el gestor ambiental.

4.1.2.2 Tratamiento primario

Según (Moreno , 2008), el tratamiento primario tiene la finalidad de eliminar los sólidos en suspensión del agua residual que está siendo tratada y que pasará al tratamiento secundario. En el proceso se tiene 2 tanques sedimentadores circulares que remueven sólidos sedimentables, son

construidos en hormigón armado cuyas dimensiones son cerca de 2,80 m de altura y 11,20 m de diámetro, están conectados entre sí con una válvula y tienen una abertura que permite inspeccionar el proceso de descontaminación del agua residual.

4.1.2.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de las aguas residuales que serán reutilizadas en la agricultura se lo realiza por medio de plantas acuáticas Lenteja de agua (*Lemna minor*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), distribuidos en 5 plataformas (Atuntaqui, Chaltura, Imbaya, Natabuela y San Roque) que tienen en su totalidad 38 estanques construidas en hormigón armado, los mismos que están conectados en serie y albergan un volumen total aproximado de 5000 m³. En la Figura 12 se observa la distribución de los estanques.

Las plantas acuáticas se encargan principalmente de la oxidación de la materia orgánica para reducir los niveles de DBO₅, además de absorber elementos contaminantes del agua residual, son recolectadas de los estanques manualmente cada quince días para ser procesadas y ser utilizadas como abono orgánico. En la disposición final del agua tratada para ser utilizada en la agricultura se tiene un cajón con rejillas que impida el paso de residuos de las plantas acuáticas utilizadas en el proceso.

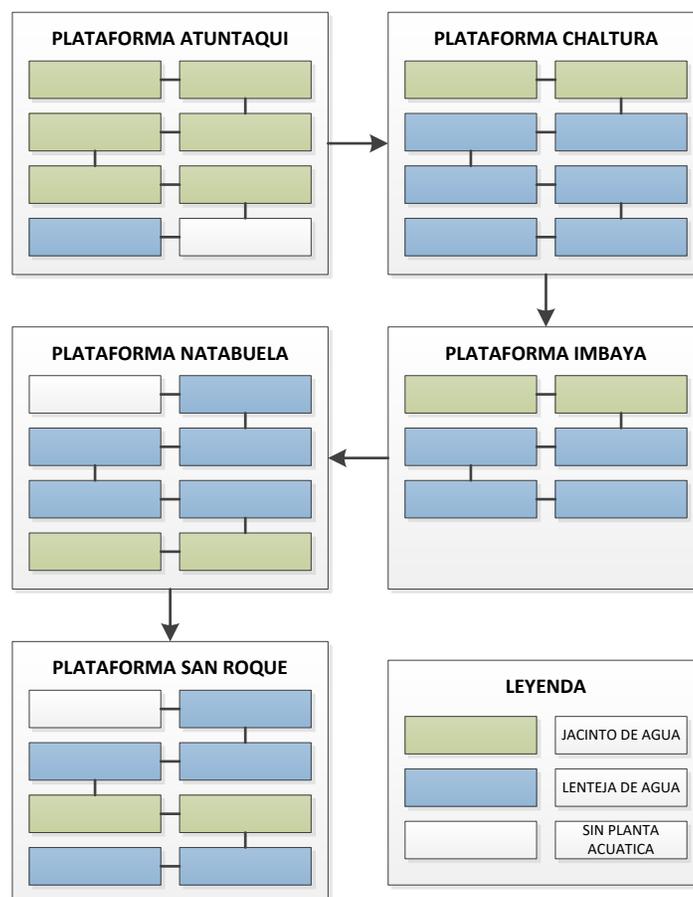


Figura 12 Distribución de la plataforma y los estanques en la PTAR

4.1.3 Análisis de los parámetros en la evaluación preliminar

La capacidad de la planta, prevista para el final del período de diseño (2028), es 10,53 L/s, desde el año 2016 se encuentra operando con un caudal promedio aproximado de 10,30 L/s que pese a ser inferior al establecido en el proyecto inicial se estima que superará el mismo antes de la fecha prevista. (Álvarez, 2008). Según los datos de reportados el caudal promedio actual responde a un valor aproximado 10,4 L/s, que aún no sobrepasa al 10,53 L/s

El tiempo de retención promedio es el lapso que se mantiene el volumen elemental de agua residual en un tanque, se considera de 36 horas para los lodos activos y de días para lagunas de estabilización, en el caso de la investigación es cercano a los 7 días (Orozco A. , 2005). Luego se realizó la toma de muestra, la misma que se puede apreciar en la Figura 13 para los análisis del efluente que sale del segundo tratamiento de la PTAR.



Figura 13 Toma de muestra del efluente de la PTAR

4.1.3.1 ***DBO₅***

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) mide la capacidad de la materia orgánica para consumir oxígeno y se lo expresa como la cantidad de oxígeno disuelto (mg) en una muestra de

agua (L). En la tabla 5 se muestra los tres resultados obtenidos para cada repetición del análisis, el promedio y la desviación.

El valor calculado para la caracterización inicial es de $79,67 \pm 2,08$ (n=3), medición que es menor (100 mg/L), al requerido para evacuar el efluente en un cuerpo de agua dulce según la Tabla 3 de criterios de calidad de aguas para riego agrícola del Acuerdo Ministerial 097 - A.

Tabla 5
Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

| Valor | Resultado | Unidad |
|-------------------|------------------|---------------|
| 1 | 78 | mg/L |
| 2 | 82 | mg/L |
| 3 | 79 | mg/L |
| Promedio | 79,67 | mg/L |
| Desviación | 2,08 | mg/L |

4.1.3.2 DQO

El parámetro de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad de materia orgánica que puede ser oxidada, existe una relación con la medida anterior, esta expresada como la cantidad de oxígeno disuelto (mg) en una muestra de agua (L), en la tabla 6 se tiene los resultados correspondientes a cada análisis considerando la cuantificación por triplado.

El valor calculado es de $132,09 \pm 9,81$ (n=3), menor al establecido en el Acuerdo Ministerial 097 – A, por lo que se puede asegurar que según la lectura de este parámetro el efluente puede ser evacuado para su reutilización en el riego agrícola.

Tabla 6
Valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

| Valor | Resultado | Unidad |
|-------------------|------------------|---------------|
| 1 | 126,25 | mg/L |
| 2 | 126,60 | mg/L |
| 3 | 143,41 | mg/L |
| Promedio | 132,09 | mg/L |
| Desviación | 9,81 | mg/L |

4.1.3.3 *Coliformes totales*

En la Tabla 7 se observa el resultado de la cuantificación de los coliformes totales con un valor promedio de $1,90 \text{ E } +06 \pm 4,86 \text{ E } +04$ (n=3), para estimar el riesgo de infección por la presencia de microorganismos patógenos, este valor supera al establecido (1000 NMP/100mL) en la Tabla 6 del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULAS).

La presencia de coliformes indica que el efluente está contaminado con bacterias que se encuentran en las heces de humanos o animales, las mismas que son consideradas dañinas y generan enfermedades como diarrea, siendo capaces de llevar a la muerte del individuo, esta

contaminación concuerda con lo reportado por (Mantilla, 2017) en la evaluación preliminar de la PTAR.

Tabla 7
Valores de los coliformes totales

| Valor | Resultado | Unidad |
|-------------------|------------------|---------------|
| 1 | 1,95E+06 | NMP/100mL |
| 2 | 1,88E+06 | NMP/100mL |
| 3 | 1,86E+06 | NMP/100mL |
| Promedio | 1,90E+06 | NMP/100mL |
| Desviación | 4,86E+04 | NMP/100mL |

4.1.3.1 *Coliformes fecales*

El análisis de los coliformes fecales totales reportó una cuantificación de $5,54E+05 \pm 4,96E+04$ (n=3), superior al establecido (1000 NMP/100mL) en la Tabla 6 del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULAS) como criterio de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

Mantilla (2017) cuantifico este parámetro con un valor mayor a la normativa vigente, suceso similar al demostrado en la tabla 8 de esta investigación. Estos patógenos pueden ser transmitidos a los individuos que consumen productos que fueron regados por las aguas tratadas en la planta generando un riesgo poblacional, por ello es procedente realizar un tratamiento adecuado.

Tabla 8
Valores de los coliformes fecales

| Valor | Resultado | Unidad |
|-------------------|------------------|------------------|
| 1 | 5,42E+05 | NMP/100mL |
| 2 | 5,12E+05 | NMP/100mL |
| 3 | 6,09E+05 | NMP/100mL |
| Promedio | 5,54E+05 | NMP/100mL |
| Desviación | 4,96E+04 | NMP/100mL |

4.2 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES Y COMBINACIONES DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO SECUNDARIO

Para determinar la efectividad de los tratamientos en los diez reactores, se analizó por triplicado los coliformes fecales, coliformes totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) por 15 días (0, 7, 12, 15) de experimentación.

Se analizó los resultados con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion para establecer la mejor combinación que garantice el valor de coliformes hasta llegar al menos a los valores normados.

Para determinar las especies y combinaciones de las plantas acuáticas se analizó a escala piloto el tratamiento secundario utilizando reactores de vidrio con dimensiones (0,50 X 0,30 X 0,30) cm³ de largo, ancho y profundidad respectivamente.

Para esta investigación se utilizó plantas acuáticas que individualmente son:

- Lenteja de agua (*Lemna minor*) que cubra un 8 % la superficie del reactor.

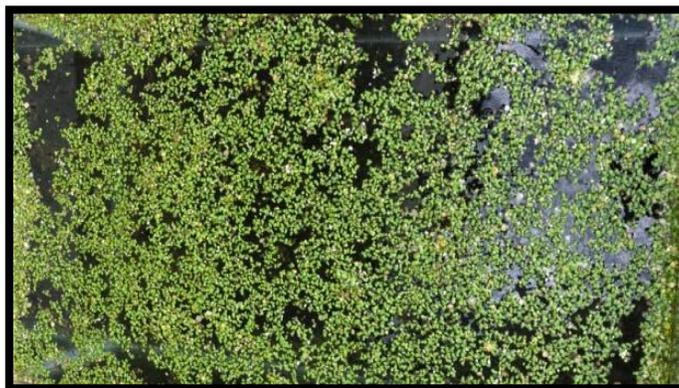


Figura 14 Reactor con *Lemna minor*

- Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) que este en 8 % la superficie del reactor.



Figura 15 Reactor con *Eichhornia crassipes*

- Helecho de agua (*Azolla caroliniana*) que cubra un 8 % la superficie del reactor.

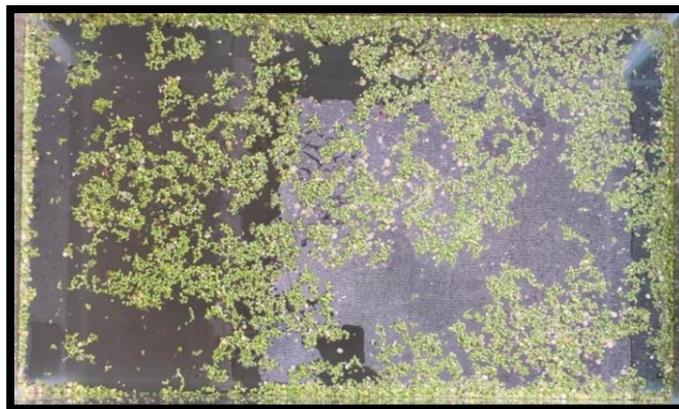


Figura 16 Reactor con *Azolla caroliniana*

- Cyperus (*Cyperus helferi*) dos plantas en el reactor.



Figura 17 Reactor con *Cyperus helferi*

Las combinaciones de cada reactor fueron:

- 4 % Lenteja de agua y 4 % Jacinto de agua



Figura 18 Reactor con *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*

- 4 % Lenteja de agua y 4 % Helecho de agua

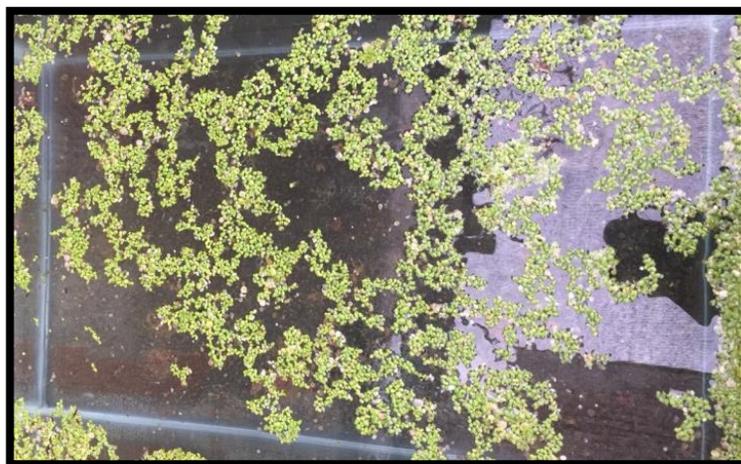


Figura 19 Reactor con *Lemna minor* y *Azolla caroliniana*

- 4 % Lenteja de agua y 1 planta *Cyperus*

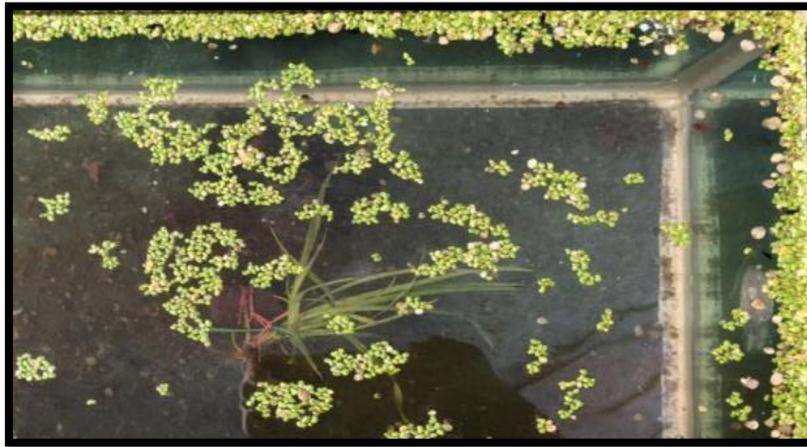


Figura 20 Reactor con *Lemna minor* y *Cyperus helferi*

- 4 % Jacinto de agua y 4 % Helecho de agua



Figura 21 Reactor con *Eichhornia crassipes* y *Azolla caroliniana*

- 4 % Jacinto de agua y 1 planta *Cyperus*



Figura 22 Reactor con *Eichhornia crassipes* y *Cyperus helferi*

- 4 % Helecho de agua y 1 planta *Cyperus*



Figura 23 Reactor con *Azolla caroliniana* y *Cyperus helferi*

Para este análisis se realizó el estudio del comportamiento de plantas acuáticas de los diez reactores para los 4 parámetros establecidos. En la Tabla 9 se presentan los tratamientos elaborados con la composición correspondiente para el futuro desarrollo de esta investigación.

Tabla 9

Tratamientos utilizados para determinar la composición de las plantas acuáticas que permita definir el reactor con máximas remociones de coliformes fecales

| TRATAMIENTO | COMPOSICIÓN |
|--------------------|---|
| T1 | <i>Azolla caroliniana</i> (Helecho de agua) |
| T2 | <i>Cyperus helferi</i> (Cyperus) |
| T3 | <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) |
| T4 | <i>Lemma minor</i> (Lenteja de agua) |
| T5 | <i>Azolla caroliniana</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> |
| T6 | <i>Azolla caroliniana</i> y <i>Lemma minor</i> |
| T7 | <i>Cyperus helferi</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> |
| T8 | <i>Cyperus helferi</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> |
| T9 | <i>Cyperus helferi</i> y <i>Lemma minor</i> |
| T10 | <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemma minor</i> |

4.2.1 DBO₅

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), con valores menores de 110 mg/L es considerada contaminación débil según el grado de contaminación de las aguas residuales urbanas establecidos (Osorio, Torres, & Sánchez, 2010). En la evaluación preliminar, los resultados de laboratorio realizados por la planta de tratamiento reportan un valor de aproximadamente 80 mg/L que están dentro del valor normado para esta variable.

En la Tabla 10, se aprecia que la mayor disminución de este parámetro es con el T3 con una remoción aproximada de 50 % para la Demanda Bioquímica de Oxígeno que está dentro de norma.

Tabla 10

Resultados de los análisis para DBO₅ en las combinaciones de plantas acuáticas

| | Día 0 | Día 7 | Día 12 | Día 15 | Remoción |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| T1 | 79,67 | 58,67 | 49,00 | 41,33 | 48,12% |
| T2 | 79,67 | 64,67 | 50,67 | 43,67 | 45,19% |
| T3 | 79,67 | 54,67 | 45,00 | 40,00 | 49,79% |
| T4 | 79,67 | 61,33 | 49,00 | 42,00 | 47,28% |
| T5 | 79,67 | 61,33 | 49,00 | 42,00 | 47,28% |
| T6 | 79,67 | 61,67 | 49,33 | 42,67 | 46,45% |
| T7 | 79,67 | 66,33 | 52,67 | 44,00 | 44,77% |
| T8 | 79,67 | 65,33 | 51,00 | 44,00 | 44,77% |
| T9 | 79,67 | 68,33 | 53,00 | 44,67 | 43,94% |
| T10 | 79,67 | 62,00 | 49,67 | 43,33 | 45,61% |

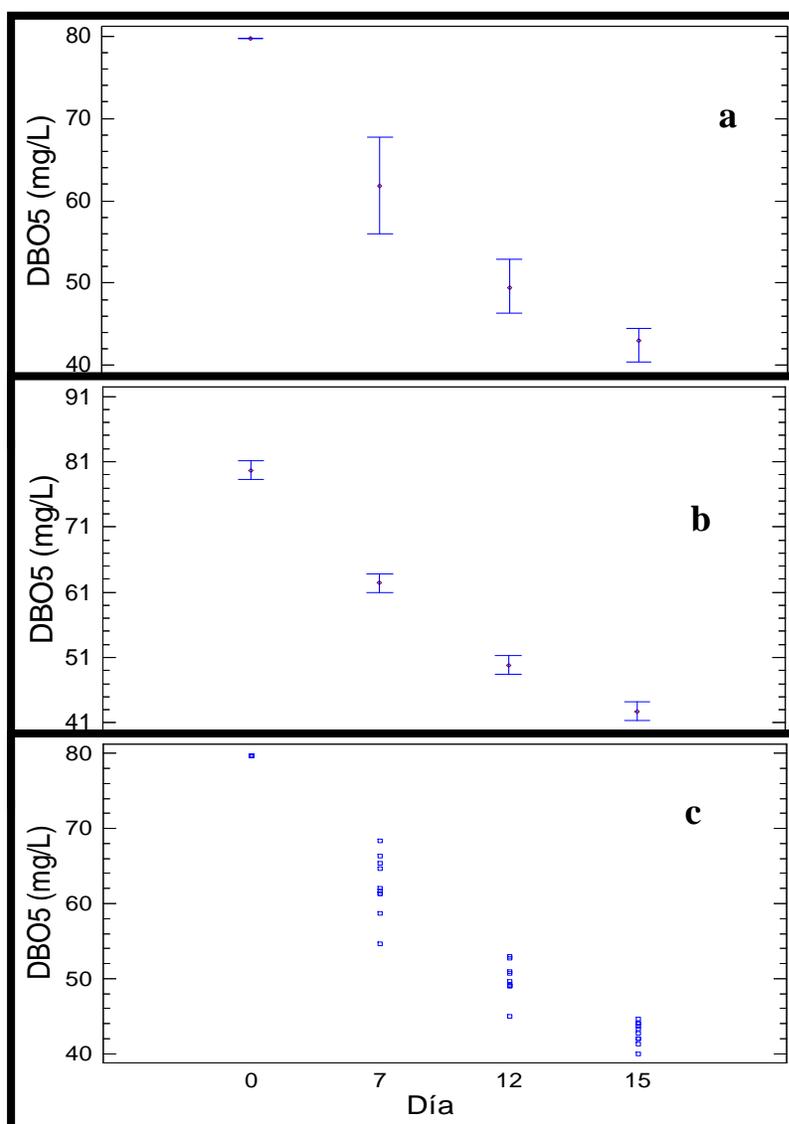


Figura 24 Gráfico del análisis del DBO₅ de las diez combinaciones

En la Figura 24 (a), se muestra en gráfico de medianas con el valor-P menor que 0,05, por lo que son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95,0%, la remoción aproximada del 50 % con las plantas acuáticas optadas. Considerando las cuatro muestras representadas por los valores calculados en los días 0, 7, 12, y 15 del análisis realizado, en la Figura 24 (b) se muestra

el DBO_5 examinado con el método de medias y 95 % de Tukey HSD y el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, por lo que se puede asegurar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables.

En la Figura 24 (c), se puede observar la dispersión del DBO_5 para las muestras consideradas anteriormente, en el inicial se aprecia que todos parten de un mismo punto y aunque en el los resultados obtenidos en el día 7 y día 12 se distingue una dispersión más acentuada, finalmente para el día 15 se resalta que los valores son similares; por lo que se ratifica que las plantas acuáticas seleccionadas para este estudio pueden ser consideradas para el tratamiento biológico de aguas residuales con remociones similares en DBO_5 .

En la Figura 25, se presenta el diagrama de caja de bigotes, el bigote de la izquierda es más corto que la derecha por ello los valores mínimos están menos disperso que los datos reportados en los primeros días de análisis, con esta tendencia estadística mostrada al comparar las 10 muestras de la combinación de plantas acuáticas se tiene que resaltar que el Jacinto de agua (T3) muestra una mayor disminución en este parámetro, seguido del Helecho de agua, sin embargo todas las combinaciones logran mantener a este parámetro dentro del valor normado por el TULAS.

Se debe rescatar que la disminución de DBO_5 para el Jacinto fue aproximadamente de 50 %, valor inferior al reportado por (Garcia, 2012) que para el caso del Jacinto fue cercano al 80 %. En la Figura 26 se observa que luego del Jacinto se tiene un mayor porcentaje de remoción con el Helecho de agua (48,12 %), finalmente la Lenteja de agua (47,28 %), el valor final obtenido

garantizan baja carga orgánica con un consumo de oxígeno considerable que es característico de unas aguas contaminadas pero aptas para ser reutilizadas en la agricultura.

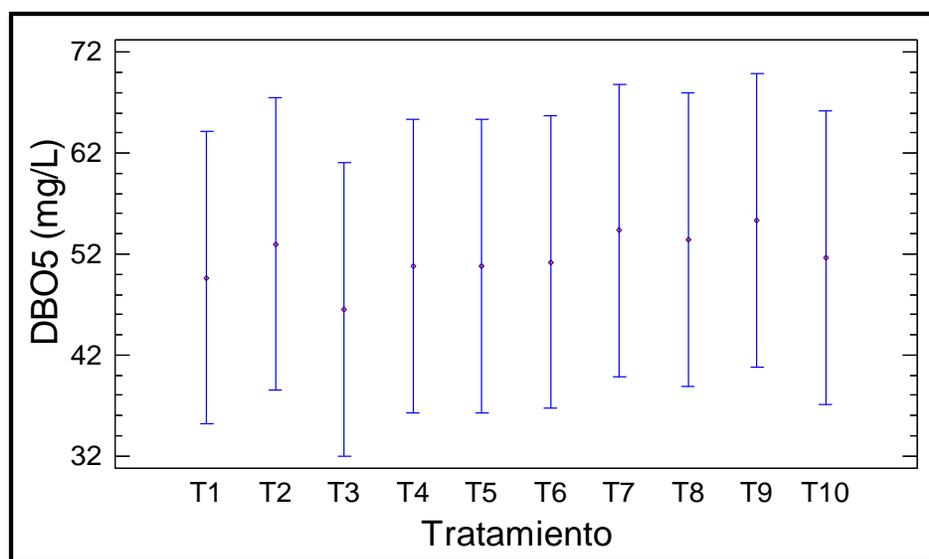


Figura 25 Análisis multivariable para el DBO₅

4.2.2 DQO

En la Figura 27 (a), se observa el gráfico de medianas con intervalos del 95,0 % de confianza haciendo una comparación de varias muestras según los días de análisis de la Demanda química de Oxígeno, teniendo una remoción entre 47 % - 38 % con la utilización de las cuatro plantas acuáticas seleccionadas para la investigación de este proyecto. En la figura 27 (b) se tiene la disminución del parámetro en función del tiempo de análisis por lo que cada instante se requiere menos oxígeno para la oxidación de materia orgánica del agua residual.

Tabla 11

Resultados de los análisis para DQO en las combinaciones de plantas acuáticas

| | Día 0 | Día 7 | Día 12 | Día 15 | Remoción |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| T1 | 132,09 | 105,19 | 91,03 | 76,05 | 42,43% |
| T2 | 132,09 | 111,31 | 96,71 | 80,37 | 39,15% |
| T3 | 132,09 | 96,00 | 83,48 | 71,15 | 46,14% |
| T4 | 132,09 | 105,75 | 91,13 | 76,96 | 41,74% |
| T5 | 132,09 | 115,56 | 101,10 | 82,12 | 37,83% |
| T6 | 132,09 | 114,31 | 98,99 | 81,34 | 38,42% |
| T7 | 132,09 | 112,01 | 98,15 | 80,75 | 38,87% |
| T8 | 132,09 | 108,70 | 95,61 | 80,31 | 39,20% |
| T9 | 132,09 | 108,47 | 92,38 | 78,32 | 40,71% |
| T10 | 132,09 | 108,45 | 91,54 | 77,28 | 41,50% |

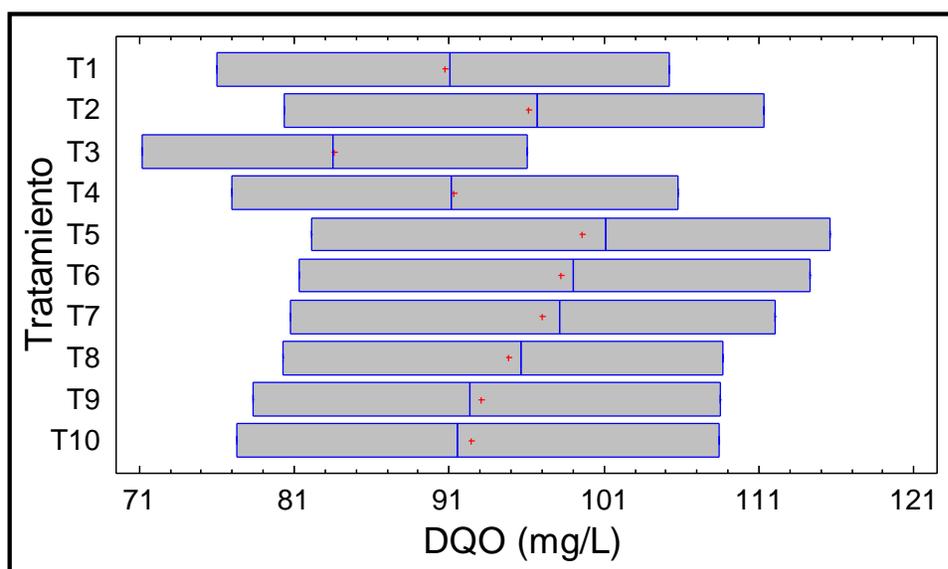


Figura 26 Caja de Bigotes del DQO representado para las 10 muestras

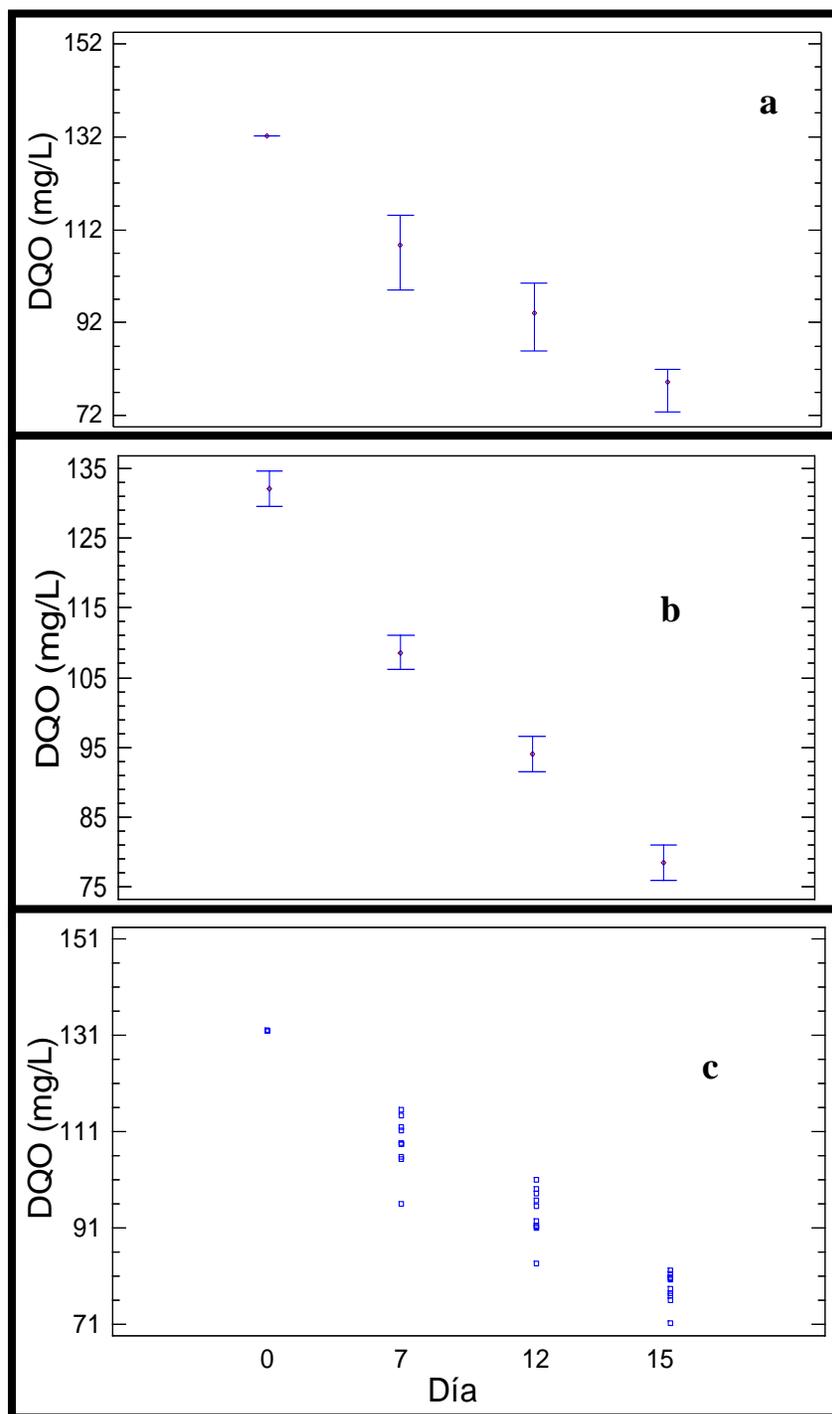


Figura 27 Gráfico del análisis para el DQO en las diez combinaciones

En el estudio estadístico de los resultados reportados se tiene una disminución en la cuantificación de DQO en función del tiempo de análisis teniendo finalmente una remoción aproximada de 50 % según se confirma en la Tabla 11.

En la caja de bigotes representada en la Figura 26, se demuestra que la mayor remoción se la consigue con el reactor que tiene Jacinto de agua, situación similar se presentó al analizar la DBO5 con la misma especie, seguido de la eficiencia de la Lenteja de agua y el Helecho de agua con remociones de 42,43 % y 41,74 % respectivamente.

El estudio realizado en esta experimentación para el DQO presentó una dispersión de los resultados similares en los cuatro días de toma de resultados según se aprecia en la Figura 27 (c). en la Figura 27 (b) y Figura 27 (c) se corrobora la disminución del parámetro DQO, en el transcurso del tiempo, el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, por lo que se puede asegurar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0 % de confianza, el decremento va desde un valor aproximado de 132 mg/L a 71 mg/L.

Al considerar las 10 muestras representadas por los reactores con las combinaciones de plantas acuáticas establecidas en la investigación examinado con el método de medias y 95 % de Tukey HSD se reporta un valor-P de la prueba-F mayor que 0,05 por lo que no hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias.

La disminución del DQO que se observa en la Figura 28, es una tendencia esperada en el tratamiento de aguas residuales y los valores obtenidos en todos los tratamientos propuestos se reportan aproximadamente entre 70 mg/L a 90 mg/L; cantidades que están por debajo del máximo permisible por el TULAS.

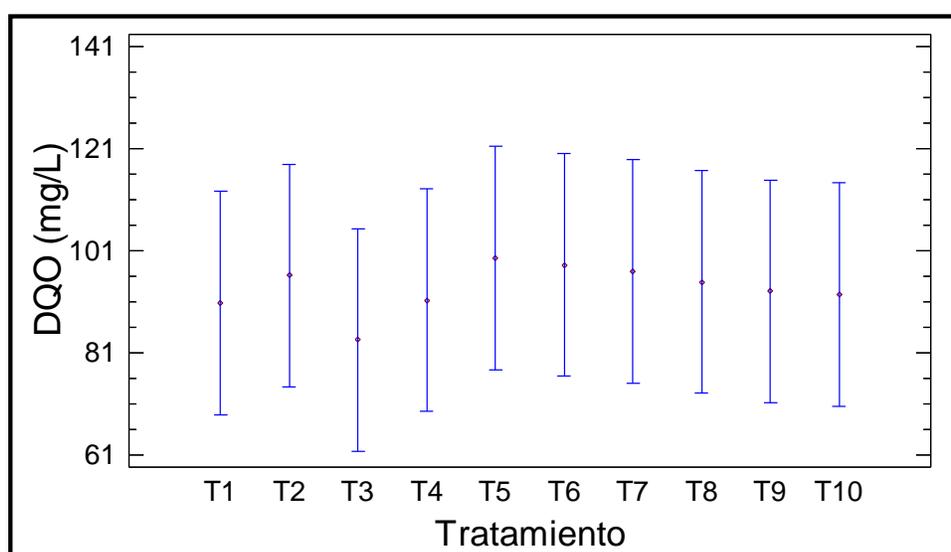


Figura 28 Análisis del DQO calculado para las 10 muestras

4.2.3 Coliformes totales

La presencia de coliformes totales es difícil de controlar, los seres humanos arrojan a diario en sus excrementos entre 10^9 y 10^{11} coliformes que contaminan el agua que este en contacto haciéndola no apta para el consumo humano, por ello es importante controlar este parámetro en todos los tratamientos (Rigola, 2015).

En la Tabla 12 se muestra los resultados para los 10 tratamientos en el análisis de coliformes totales y en la Figura 30 (c) y 30 (a) se muestra la dispersión de los resultados y la distribución de las medias respectivamente, de los que se pueden concluir que en el día 7 los valores aún son pocos dispersos mientras que en el día 12 y día quince esta variable es más acentuada por la variabilidad de los resultados, tendencia que se corrobora en el análisis de medias con intervalos del 95,0 % de confianza para los 4 días de experimentación.

Tabla 12

Resultados de los análisis para coliformes totales en las combinaciones de plantas acuáticas

| | Día 0 | Día 7 | Día 12 | Día 15 | Remoción |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| T1 | 2,20E+06 | 2,07E+06 | 2,02E+06 | 2,10E+06 | 9,18E+04 |
| T2 | 9,66E+05 | 1,10E+06 | 1,02E+06 | 1,03E+06 | 6,76E+04 |
| T3 | 2,22E+05 | 2,02E+05 | 2,13E+05 | 2,12E+05 | 1,02E+04 |
| T4 | 1,91E+05 | 1,95E+05 | 1,88E+05 | 1,91E+05 | 3,27E+03 |
| T5 | 8,36E+04 | 8,30E+04 | 8,76E+04 | 8,47E+04 | 2,55E+03 |
| T6 | 9,62E+01 | 9,60E+01 | 9,57E+01 | 9,59E+01 | 2,73E-01 |
| T7 | 2,20E+06 | 2,07E+06 | 2,02E+06 | 2,10E+06 | 9,18E+04 |
| T8 | 9,66E+05 | 1,10E+06 | 1,02E+06 | 1,03E+06 | 6,76E+04 |
| T9 | 2,22E+05 | 2,02E+05 | 2,13E+05 | 2,12E+05 | 1,02E+04 |
| T10 | 1,91E+05 | 1,95E+05 | 1,88E+05 | 1,91E+05 | 3,27E+03 |

En la Figura 29 se puede apreciar el estudio de las medias para este parámetro que corrobora lo expuesto anteriormente, además el valor-P es menor que 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

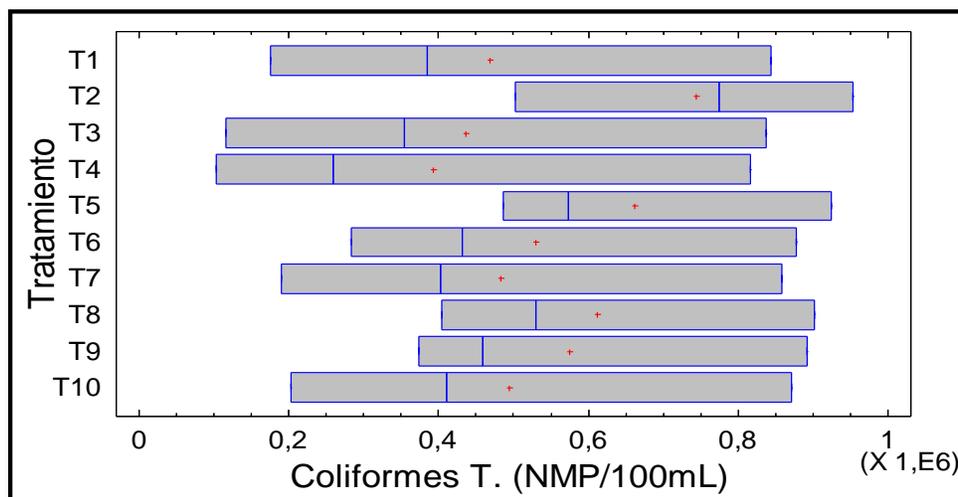


Figura 29 Caja de Bigotes de los coliformes totales para las 10 muestras

En Figura 30 (b) se muestra el análisis estadístico de los datos en el estudio de los coliformes totales de las aguas residuales de Planta de Tratamiento de Chaltura que muestran que todos están fuera de norma que establece un valor máximo de 1000 NMP/100mL para destinar el agua tratada para el uso agrícola, además de la existencia de un dato atípico para el día 12 y una dispersión que aumenta según transcurre los días de análisis.

Los coliformes totales son organismos comunes utilizados como indicadores de la materia fecal existente en el efluente analizado (Rigola, 2015), en la Figura 31 se observa que la Lenteja de agua presenta el mejor rendimiento para la descontaminación de 94,52 % de coliformes totales, seguido de Jacinto con 93,82 % y finalmente el Helecho de agua con 90,75 %.

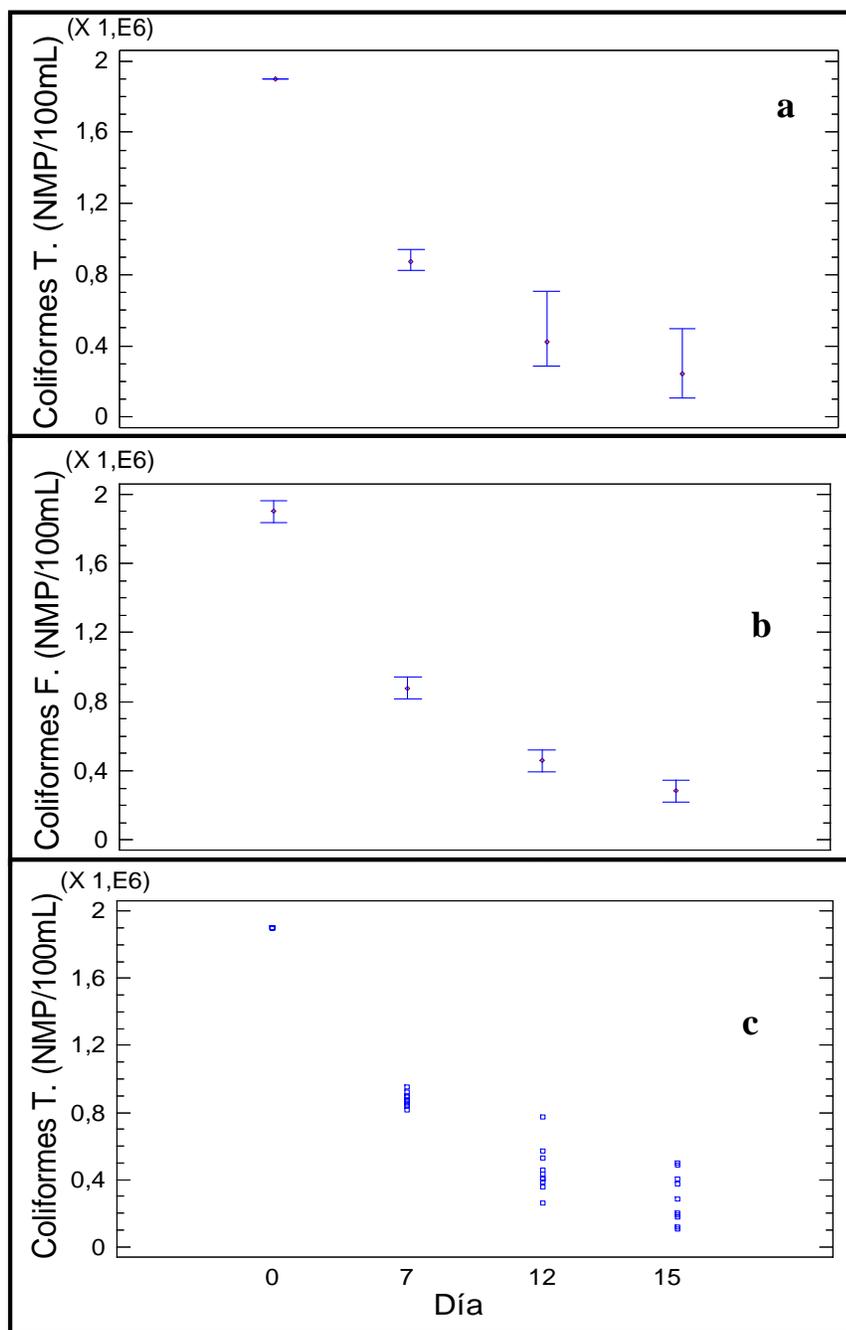


Figura 30 Gráfico para el análisis de los coliformes totales en las diez combinaciones

El valor de los coliformes totales mínimo para considerarla como agua para el uso agrícola debe ser menor o igual a 1000 NMP/100mL y en el caso del estudio propuesto el mínimo valor logrado con Lenteja de agua (*Lemma minor*) es de $1,04 \text{ E}+05$ con un porcentaje de remoción de aproximadamente 94,52 %, cantidad que supera al mínimo establecido por el TULAS y por el Acuerdo Ministerial No. 097- A para coliformes fecales en aguas destinadas a uso agrícola.

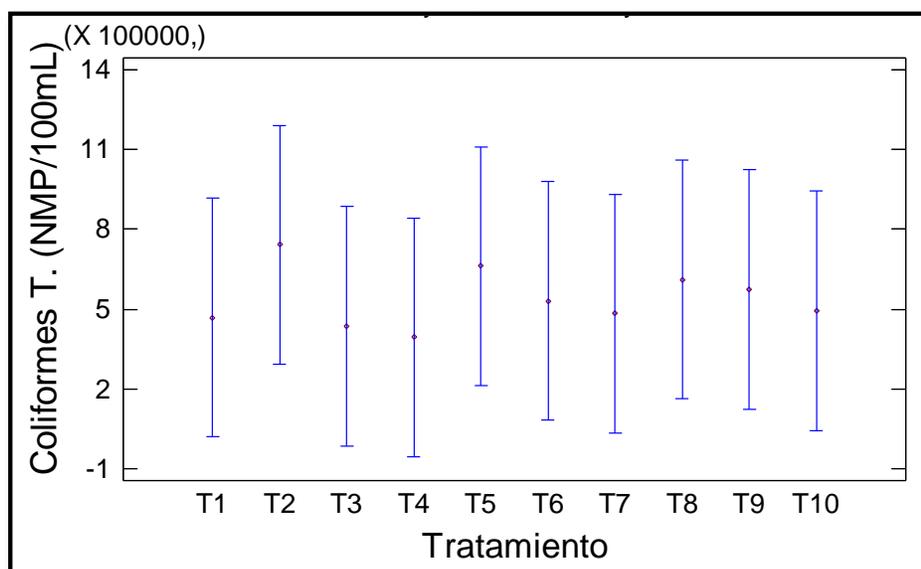


Figura 31 Análisis de los coliformes totales para las 10 muestras

4.2.4 Coliformes fecales

Las aguas residuales tienen microorganismos que generalmente vienen de los excrementos humanos y causan infecciones gastrointestinales. La aislación de coliformes fecales es compleja por lo que es la causa de algunas enfermedades y torna el agua insegura para ser ingerida por los

seres vivos (López, Buitron, García, & Cervantes, 2014) (Rigola, 2015). En la Tabla 13 se muestran los resultados del análisis para coliformes fecales

En la Figura 32 (c) y 32 (b) se muestra la dispersión de los datos y el rango con las medias de los mismos considerando como variables los días (0, 7,12, 15) de investigación, con el método de medias el valor-P puede asegurar que existe una diferencia estadísticamente significativa. En la Figura 32 (a) se observa un disminución del parámetro de coliformes fecales según análisis con el método de medianas. Además en la Figura 34 se comprueba que la Lenteja de agua (*Lemma minor*) presentó la máxima disminución de coliformes fecales según el bigote izquierdo, comportamiento similar al estudio de coliformes totales del punto anterior, por lo que se puede concluir que es la mejor especie acuática para ser considerada en esta descontaminación.

Tabla 13

Resultados de los análisis para coliformes fecales en las combinaciones de plantas acuáticas

| | Día 0 | Día 7 | Día 12 | Día 15 | Remoción |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| T1 | 5,54E+05 | 3,10E+05 | 1,64E+05 | 3,41E+04 | 93,85% |
| T2 | 5,54E+05 | 4,51E+05 | 2,86E+05 | 1,41E+05 | 74,58% |
| T3 | 5,54E+05 | 2,61E+05 | 1,61E+05 | 2,46E+04 | 95,56% |
| T4 | 5,54E+05 | 2,51E+05 | 1,04E+05 | 1,40E+04 | 97,47% |
| T5 | 5,54E+05 | 4,17E+05 | 2,81E+05 | 1,01E+05 | 81,81% |
| T6 | 5,54E+05 | 3,42E+05 | 1,98E+05 | 5,09E+04 | 90,82% |
| T7 | 5,54E+05 | 3,28E+05 | 1,77E+05 | 3,95E+04 | 92,87% |
| T8 | 5,54E+05 | 3,94E+05 | 2,78E+05 | 8,54E+04 | 84,59% |
| T9 | 5,54E+05 | 3,92E+05 | 2,78E+05 | 7,31E+04 | 86,81% |
| T10 | 5,54E+05 | 3,30E+05 | 1,87E+05 | 4,24E+04 | 92,35% |

En la Figura 33 y Figura 34 se tiene el análisis multivariable para los coliformes fecales considerando las 10 combinaciones de plantas acuáticas según el método de medias y 95 % de Tukey HSD reportando que las muestras no son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95,0%. A pesar de disminuir su valor los resultados reportados son superiores a los normados en el TULAS.

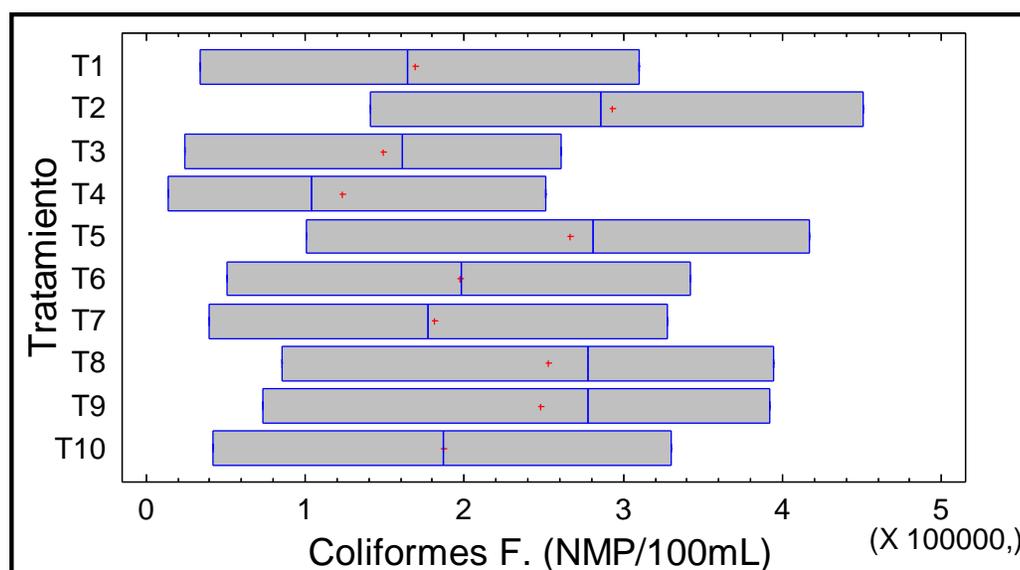


Figura 33 Caja de Bigotes para los coliformes fecales representado para las 10 muestras

Al realizar un análisis bacteriológico con el método de los tubos múltiples con valor inferior a 1 NMP se consideran óptimos para ser usados en agua potable, el estudio de un agua es importante en procesos utilizados en la industria farmacéutica y alimentaria. Para esto se utiliza tratamiento biológico esterilización por luz ultravioleta, cloración u ozonización (Rigola, 2015)

De esto se puede concluir que la mejor especie es la Lenteja de gua (*Lemma minor*) pero no logra llegar a los valores normados en el TULAS y en el Acuerdo Ministerial No. 097- A para coliformes fecales en aguas destinadas a uso agrícola

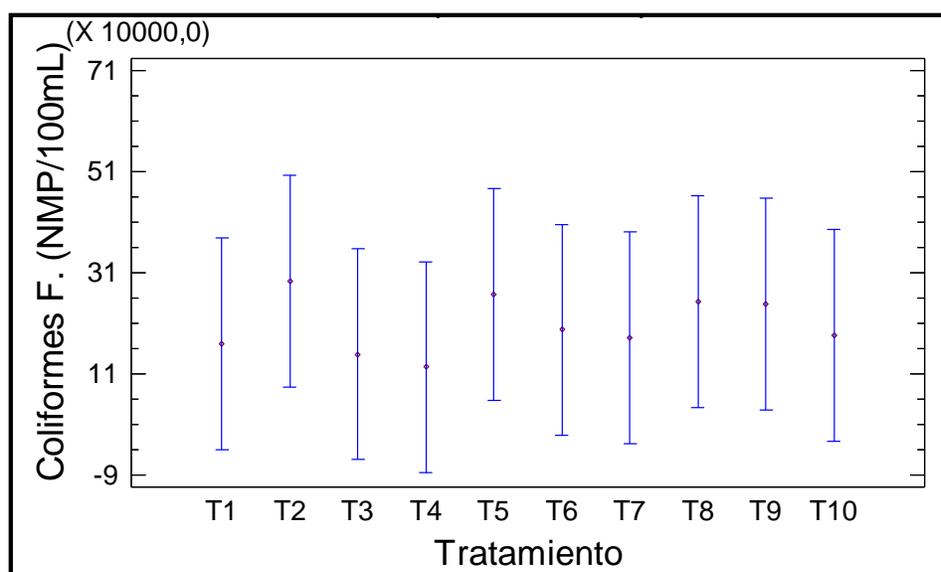


Figura 34 Análisis multivariable para los coliformes fecales

4.3 PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CHALTURA

La mejor combinación de las plantas acuáticas que se estableció en el punto anterior se organizó en cuatro reactores conectados en serie simulando la situación real en planta de las plataformas con sus estanques, esquema que se muestra en la Figura 35, además se mantiene el tiempo de retención promedio de 6,39 días calculado en el sistema.

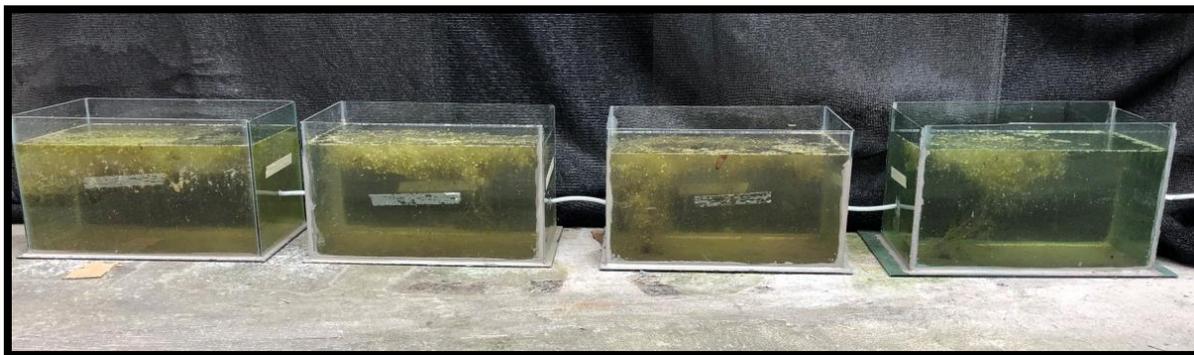


Figura 35 Esquema de los reactores en el análisis con Lenteja de agua.

El diagnóstico se basó en la combinación de plantas acuáticas en reactores de vidrio para un sistema simulación de las plataformas reales de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se analizó por triplicado la efectividad en el sistema por 15 días (0, 5, 10, 13, 15) para DBO₅, DQO y estudio microbiológico de los coliformes fecales, coliformes totales.



Figura 36 Esquema de reactores con Lenteja de agua, en el análisis con sensores ambientales

Además se utilizaron sensores ambientales según se aprecia en la Figura 36, para registrar a diario por triplicado durante los quince días de iniciar el estudio la humedad relativa (HR), presión barométrica, temperatura ambiente (Ta), temperatura del reactor (Tr), conductividad, oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH). Estos datos se procesaran con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion.

Luego se dimensionó la plataforma con los estanques y la mejor combinación de plantas acuáticas para asegurar que el valor de coliformes que esta fuera de rango en la planta de tratamiento se ajuste a la normativa vigente. Se debe considerar el costo del tratamiento para realizar el tratamiento del agua para eliminar los contaminantes y garantizar la calidad necesaria para poder regresarla al proceso o enviarla a cuerpos receptores, drenaje municipal, ríos, mares u otros cuerpos de agua (Martinez & Rodriguez, 2005).

4.3.1 Sensores Ambientales

La utilización de sensores ambientales para determinar los siguientes parámetros (temperatura, humedad relativa, presión barométrica, temperatura ambiente, temperatura del reactor, conductividad, oxígeno disuelto, potencial de hidrogeno), es muy manejado para facilitar el análisis in situ y mejorar la eficiencia del proceso permitiendo corregir daños de la planta a brevedad posible. El monitoreo continuo, la información en tiempo real es amplio e innovador sistema que se está implementando en la actualidad. (Balcells & Romeral, 1997). En la tabla 14 se muestran los resultados de los diversos parámetros estudiados en esta investigación:

Tabla 14

Valores de los resultados reportados con el uso de los sensores ambientales

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDAD |
|-------------------------------------|--------------------|---------------|
| Humedad relativa (HR) | 80,71 ± 5,28 | % |
| Presión barométrica (PA) | 1,016 E+05 ± 26,62 | MPa |
| Temperatura ambiente (Ta) | 14,55 ± 5,8 | °C |
| Temperatura del reactor (Tr) | 17,25 ± 6,4 | °C |
| Conductividad | 527,45 ± 0,72 | μS/cm |
| Oxígeno disuelto (OD) | 16,73 ± 0,44 | mg/L |
| Potencial de hidrogeno (pH). | 6,9 ± 0,02 | |

4.3.1.1 Temperatura Ambiente

En la Figura 38 se muestran los valores tomados como temperatura ambiente que fueron registrados a las 6:00 am (V1), a las 14:000 (V2) y las 22:00 (V3) aproximadamente y un resultado promedio de las cuantificaciones anteriores (VP).

En la Figura 37 (a) el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza, teniendo como resultados temperaturas mínimas en horas de la mañana con un promedio de $10,11 \pm 0,33$ °C, mientras que en la tarde se alcanza temperaturas de $21,17 \pm 0,70$ °C para luego disminuir en horas de la noche a $12,39 \pm 0,54$. En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San José de Chaltura se tiene temperaturas ambientales mínimas de 7,5 °C y máximas de 22 °C con temperaturas medias de 15,7°C, similares a los reportados en esta investigación.

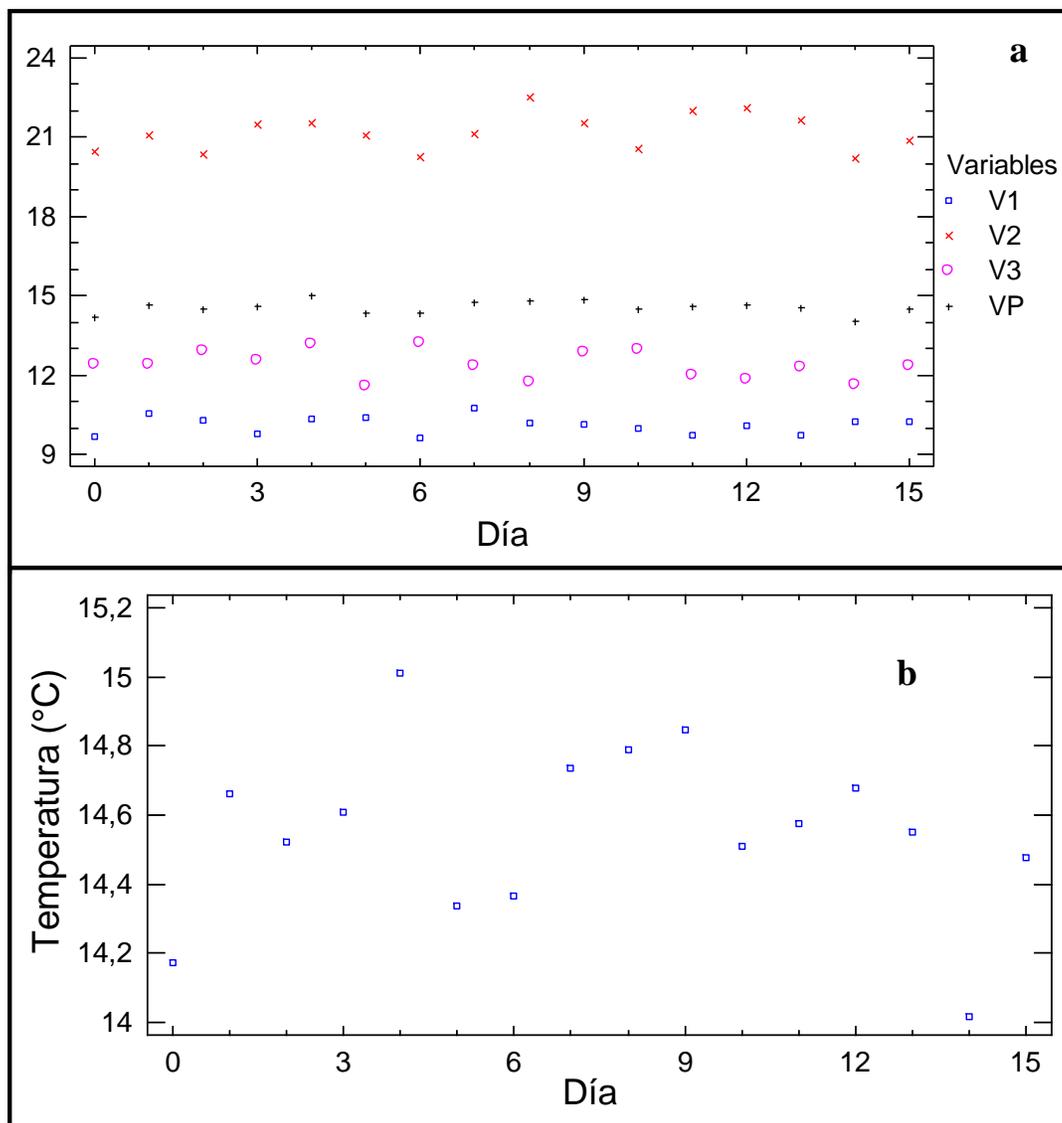


Figura 37 Gráfico de dispersión de la temperatura ambiente

En la Figura 37 (b) se muestra la dispersión de los valores promedios para la temperatura ambiental, siendo el promedio de $14,55 \pm 5,8$ °C ($n = 15$), inferior al reportado en el PDOT parroquial de Chaltura (15,7). Las temperaturas bajas en horas de la mañana garantizan la reacción de primer orden en el proceso de cloración según lo establecido por (Ramalho, 2003).

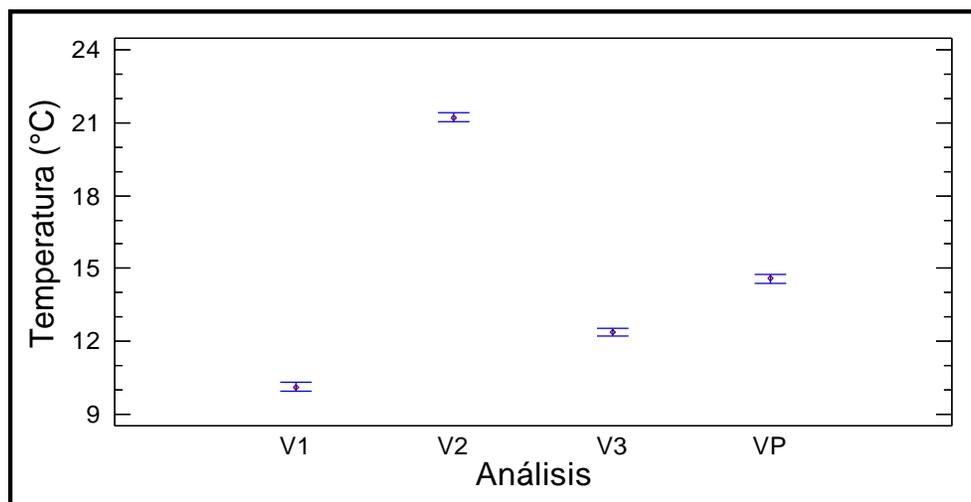


Figura 38 Análisis multivariante para la temperatura ambiente

4.3.1.2 Temperatura del reactor

En la Figura 40 se tiene la misma tendencia para la temperatura ambiente, la temperatura del reactor en el que se mantiene la Lenteja de agua tiene un ligero aumento estimado de 1 °C a 2 °C, este evento se presenta de igual manera en el estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas de agua y buchón de agua en humedales artificiales (Rodriguez, Gómez, Garavito, & López Franci, 2010). Esto se presenta porque la Lenteja de agua al estar flotando en el efluente retarda la pérdida calorífica hacia el ambiente.

En la Figura 39 (a) y 39 (b) se tiene la dispersión de los datos registrados durante el análisis y como el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza, estableciendo

como valor promedio $17,25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($n = 15$) y una dispersión con valores mínimos en la mañana y máximo en la tarde.

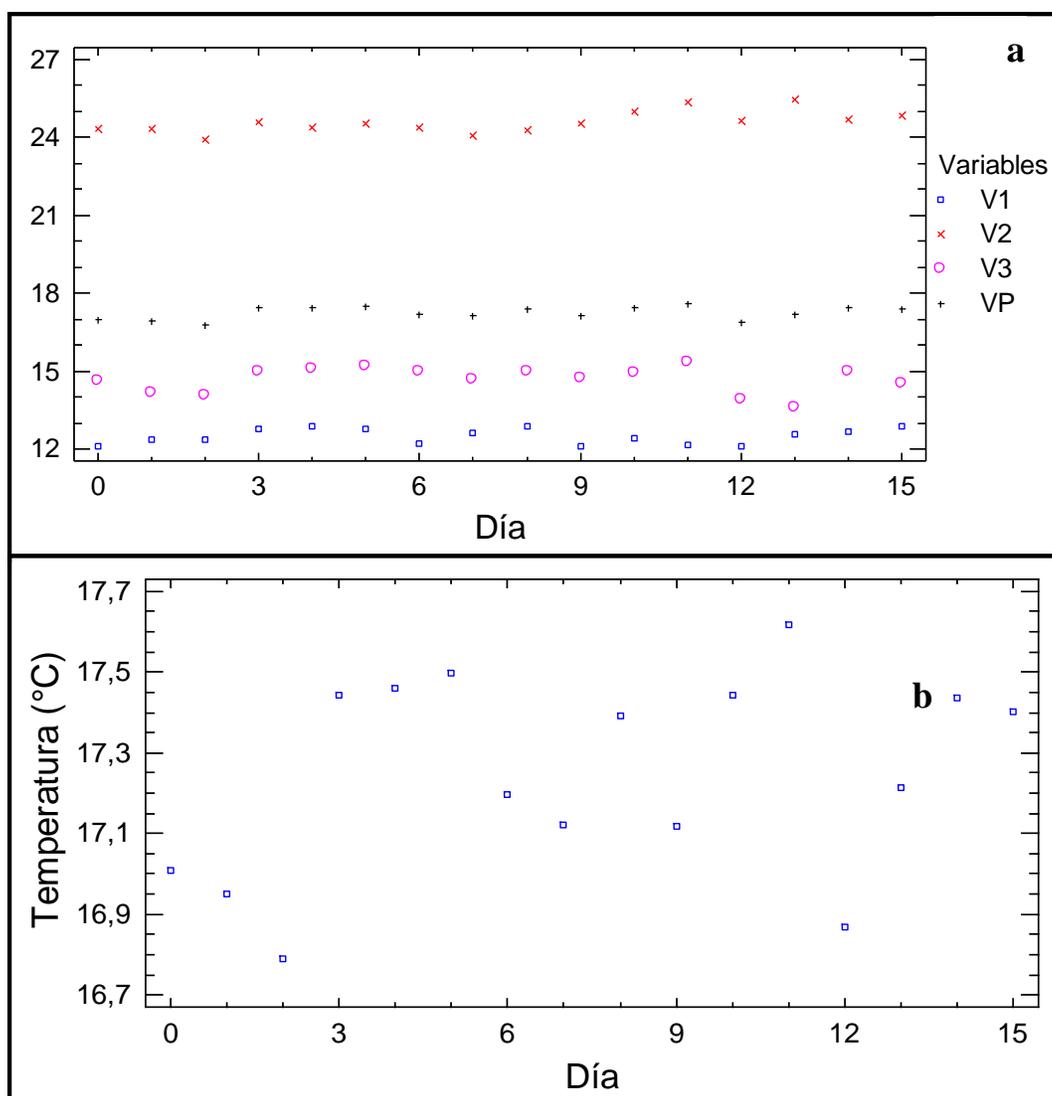


Figura 39 Gráfico de dispersión de la temperatura del reactor

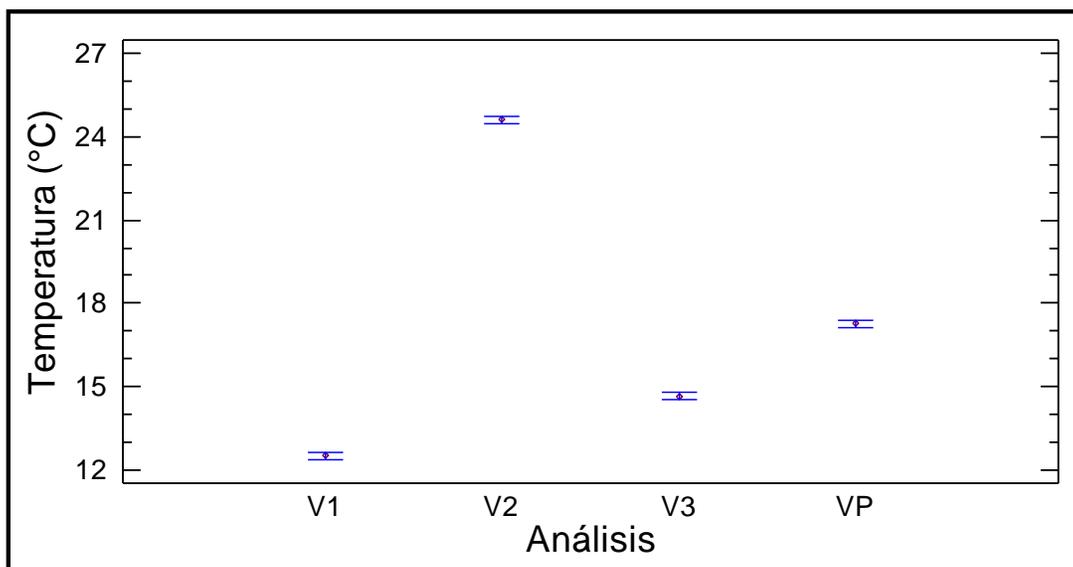


Figura 40 Análisis multivariable para la temperatura del reactor

4.3.1.3 Humedad relativa

La humedad está determinada por el vapor de agua presente en la atmosfera, dicho de otra manera es el agua que existe en el aire, en la Figura 41 (a) y 41 (b) se observa la distribución de la humedad relativa que tiene una directriz similar a la temperatura, esto se debe a que la presión de vapor es directamente proporcional a la Humedad relativa y de igual forma existe una correspondencia similar con la temperatura. Según el análisis estadístico el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

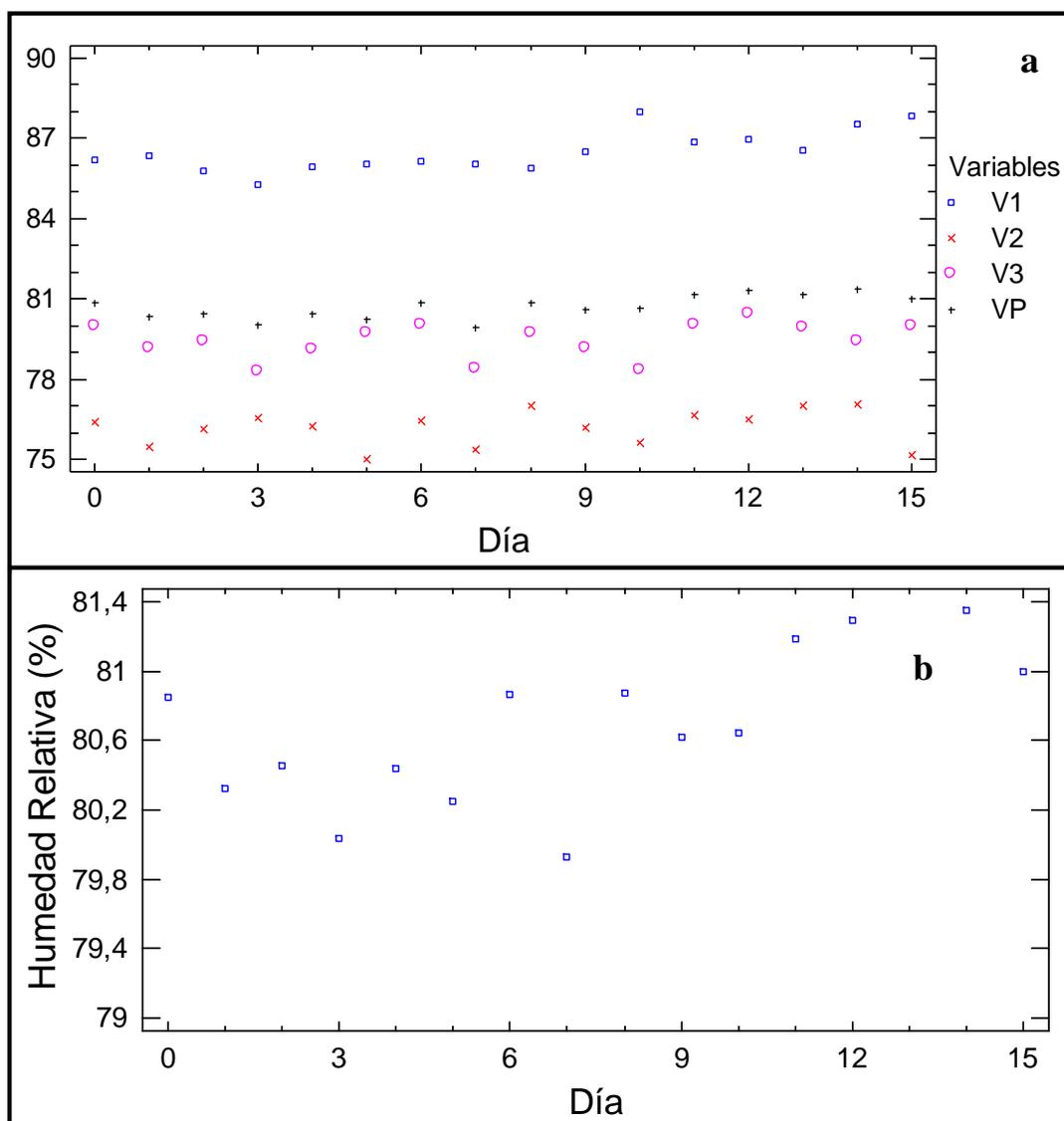


Figura 41 Gráfico de dispersión para la humedad relativa

En el análisis multivariado reportado en la Figura 42 el valor promedio para la humedad relativa es $80,71 \pm 5,28$ % ($n = 15$) superior al reportado en el PDOT parroquial de San José de Chaltura (75 %).

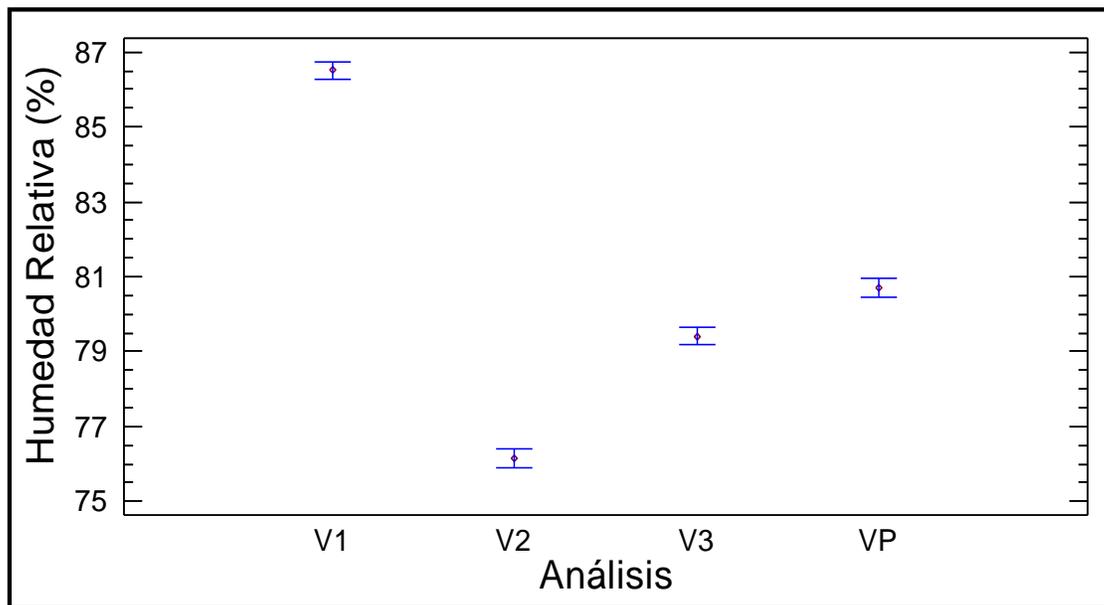


Figura 42 Análisis multivariable para la humedad relativa

4.3.1.4 Presión Atmosférica

En la Figura 43 se muestra la presión atmosférica que caracteriza al lugar de análisis con valores de $1,016 \text{ E}+05 \pm 26,62 \text{ MPa}$, cercanos a 1 atmosfera y con una desviación mínima y un valor $-P$ mayor a 0,05 que garantiza que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las variables con 95,0% de confianza.

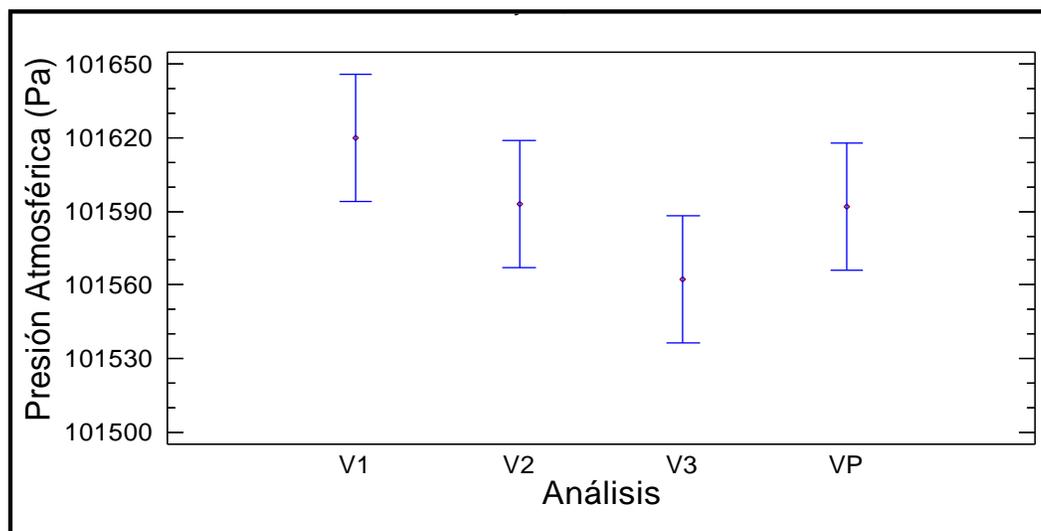


Figura 43 Análisis multivariable para la presión atmosférica

4.3.1.5 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el agua, que ingresa al efluente por difusión desde ambiente que le rodea, este parámetro no puede ser superior a los 110 mg/L, ni inferior a los 2 mg/L porque no existiera vida marina, para este parámetro la normativa señala que debe ser superior a los 3 mg/L y como se observa en la Figura 44 (a) y 44 (b) los valores superan los 14 mg/L con lo que se garantiza la actividad fotosintética de las lentejas de agua y por ende la absorción de contaminantes del reactor que lo contiene. En la Figura 45 se tiene el análisis multivariado para evaluar este parámetro y en el análisis estadístico se comprueba que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, por lo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza. El resultado obtenido fue de $16,73 \pm 0,44$ mg/L

(n = 15), resultado similar al presentado por García (2012) de 15,6 mg/L, además de rescatar que se encuentra dentro de la normativa actual.

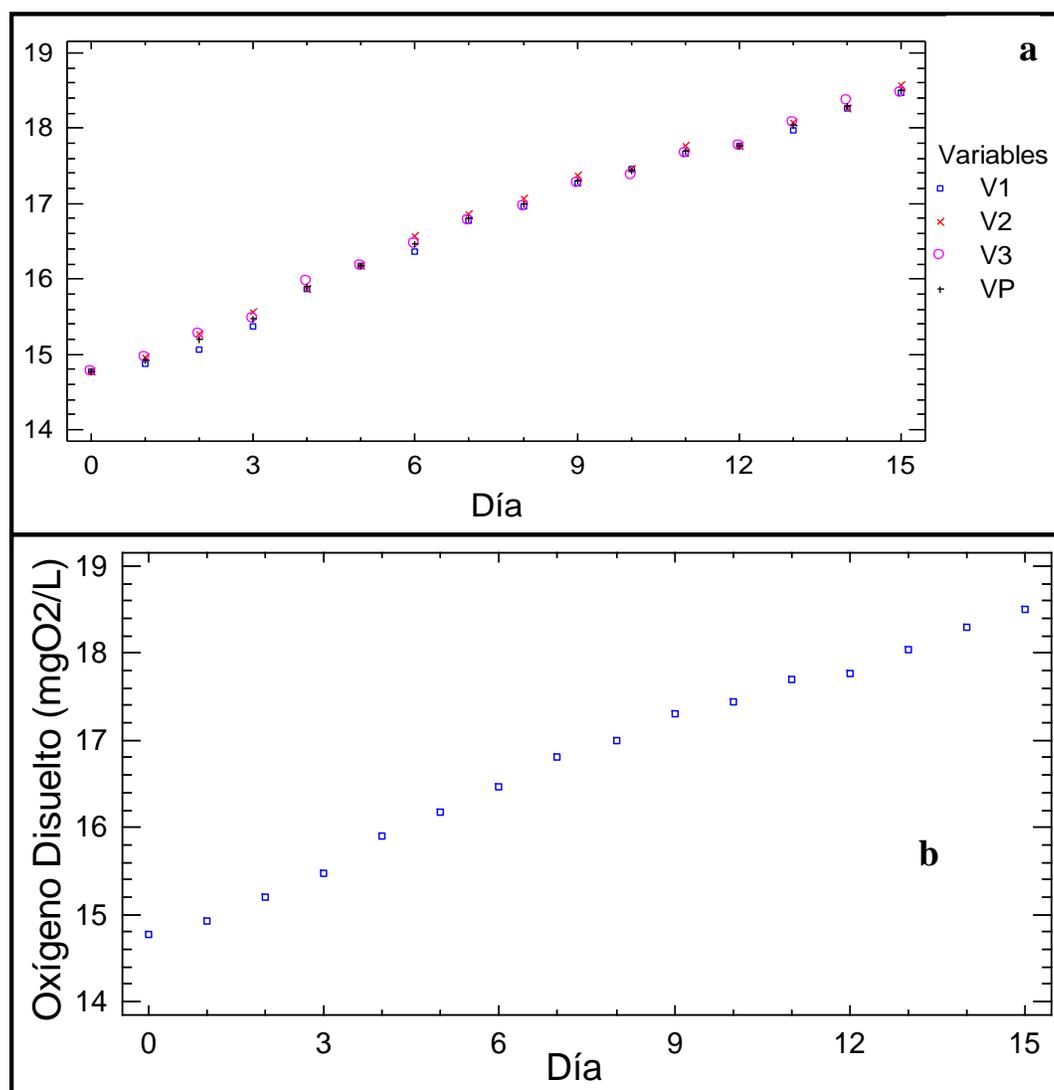


Figura 44 Gráfico de dispersión para el oxígeno disuelto

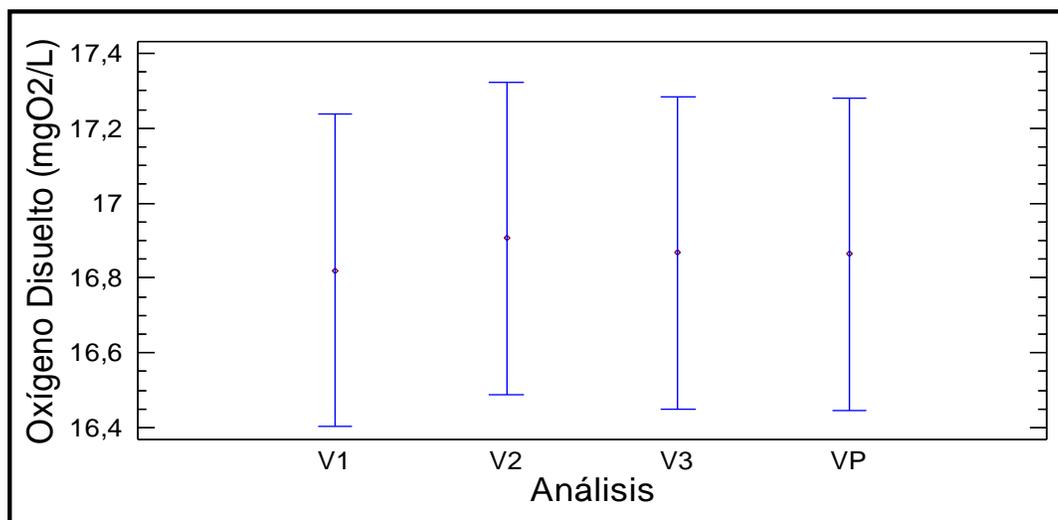


Figura 45 Análisis multivariable para el oxígeno disuelto

4.3.1.6 Potencial de hidrógeno

Esta medida permite establecer la acidez o alcalinidad considerando que acidez es la capacidad del efluente para a una solución los iones de hidrógeno (H^+), a diferencia de la alcalinidad que el aporte es de hidroxilo (OH^-), lo recomendado por el Acuerdo ministerial 097-A es un valor entre 6 – 9 para poder ser reutilizada en el riego agrícola.

En la Figura 46 (a) y 46 (b) se tiene un aumento de pH que se encuentra por debajo de 7,5, con lo se puede asegurar que está cumpliendo con lo establecido en la normativa, en la investigación realizada por García (2012) se tiene la misma tendencia.

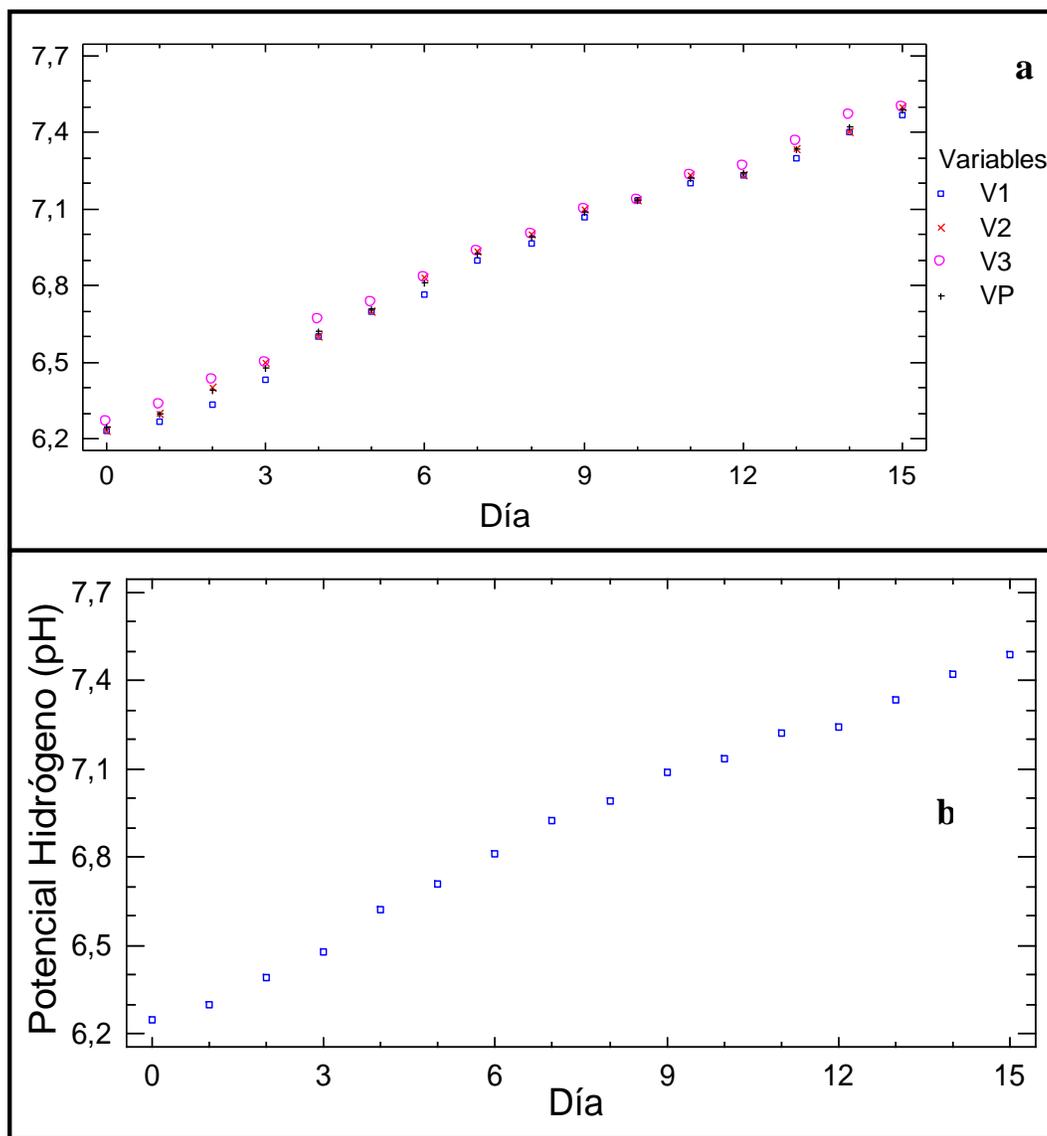


Figura 46 Gráfico de dispersión para el potencial de hidrógeno

En el estudio estadístico el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, por lo que se puede garantizar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza. El pH promedio en esta investigación es de $6,9 \pm 0,02$ ($n = 15$) similar al 6,25 obtenido en el estudio de comparación del tratamiento de aguas

residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales (Rodríguez, Gómez, Garavito, & López Franci, 2010).

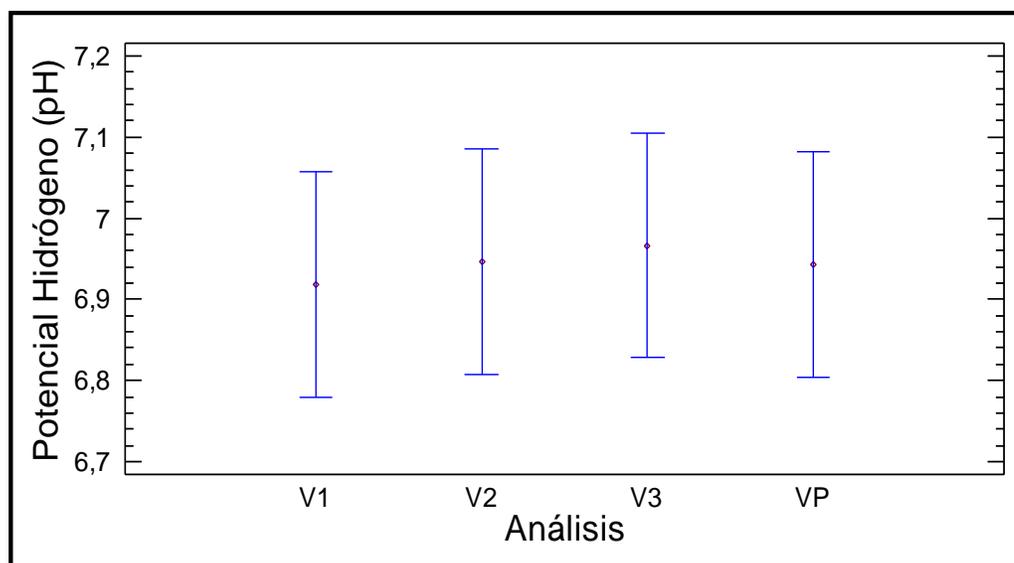


Figura 47 Análisis multivariable para el potencial de hidrogeno

4.3.1.7 Conductividad

En la Figura 49 se muestra el promedio de conductividad del agua residual tratada según los días de análisis, $527,45 \pm 0,72 \mu\text{S/cm}$ ($n = 15$) considerando que no existen diferencias estadísticamente significativas para las variables consideradas. En la Figura 48 (a) y 48 (b) se tiene la disminución de la conductividad, esto demuestra la concentración de iones presentes en el agua residual tratada, por ello mientras aumente la concentración de iones aumentará la conductividad, en este caso el valor entre $470 \mu\text{S/cm}$ y $580 \mu\text{S/cm}$, similar al estudio realizado en la comparación y evaluación

de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en las aguas residuales domesticas (García, 2012) (Rodriguez, Gómez, Garavito, & López Franci, 2010).

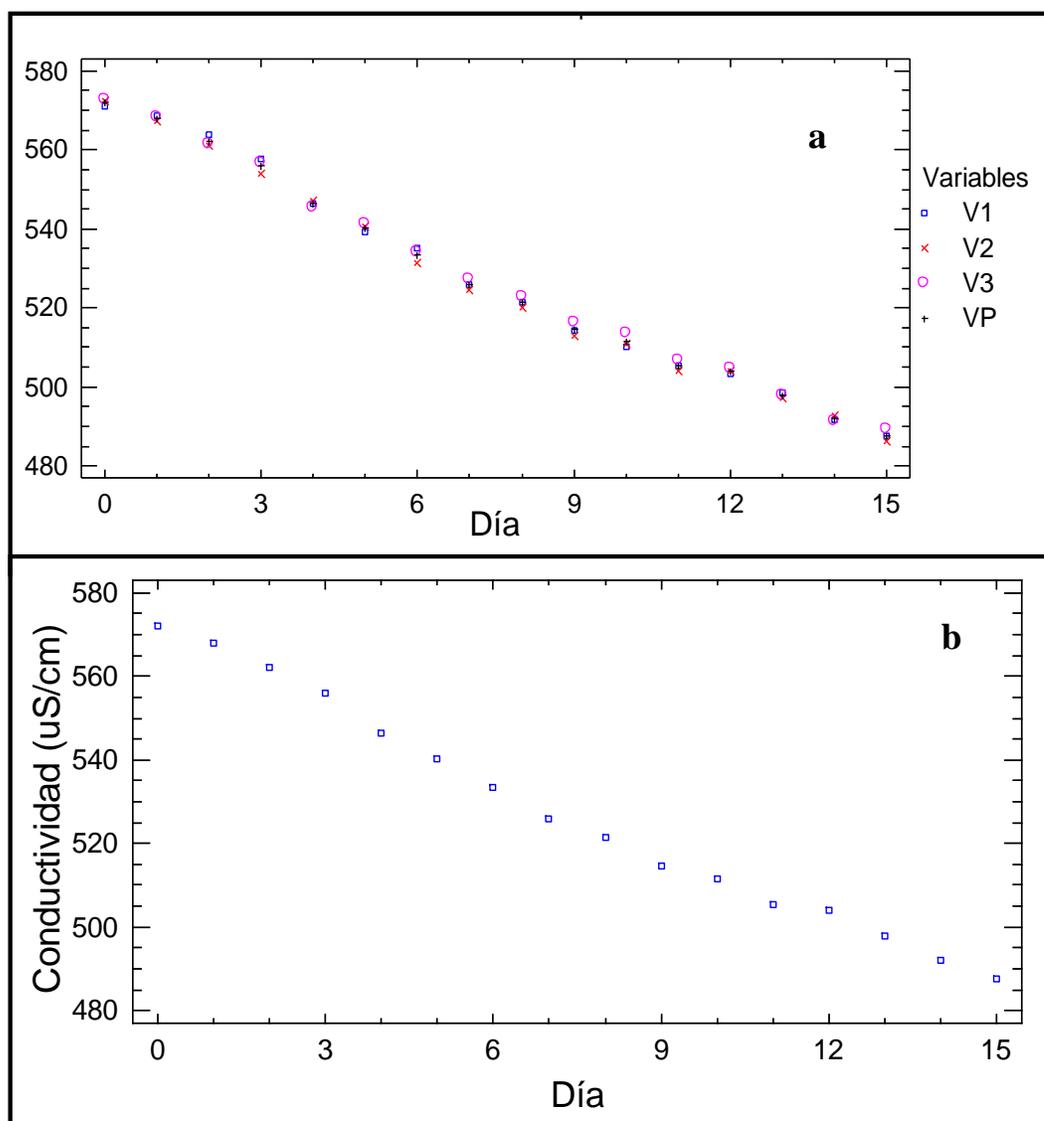


Figura 48 Gráfico de dispersión para la conductividad

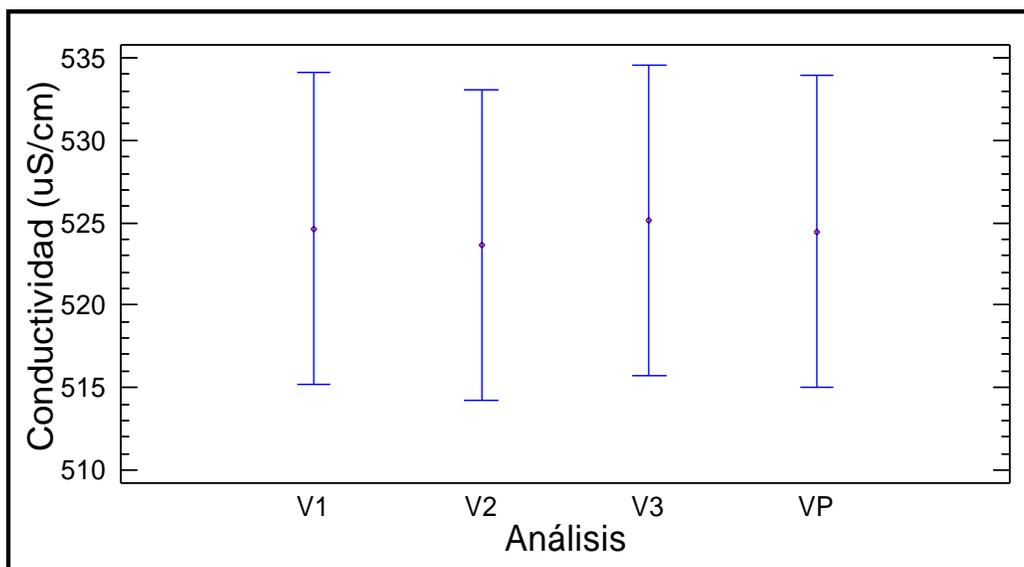


Figura 49 Análisis multivariable para la conductividad

Para los siguientes análisis se tiene valores que se observan en la Tabla 15.

Tabla 15

Valores de los resultados reportados en laboratorio para el análisis con Lemma minor

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDAD |
|---------------------------|------------------------|-----------|
| DBO₅ | 37,00 ± 1,73 | mg/L |
| DQO | 83,33 ± 3,06 | mg/L |
| Coliformes Totales | 8,47 E+04 ± 2,55 E +03 | NMP/100mL |
| Coliformes Fecales | 1,08 E+04 ± 5,14 E +02 | NMP/100mL |

4.3.2 DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno es una referencia para establecer la cantidad de oxígeno requerida de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar a la totalidad la materia orgánica biodegradable presente en el agua estudiada. En la Figura 50 se muestra el análisis multivariable para el valor de la repetición 1, 2, 3 y promedio, estadísticamente el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, por lo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

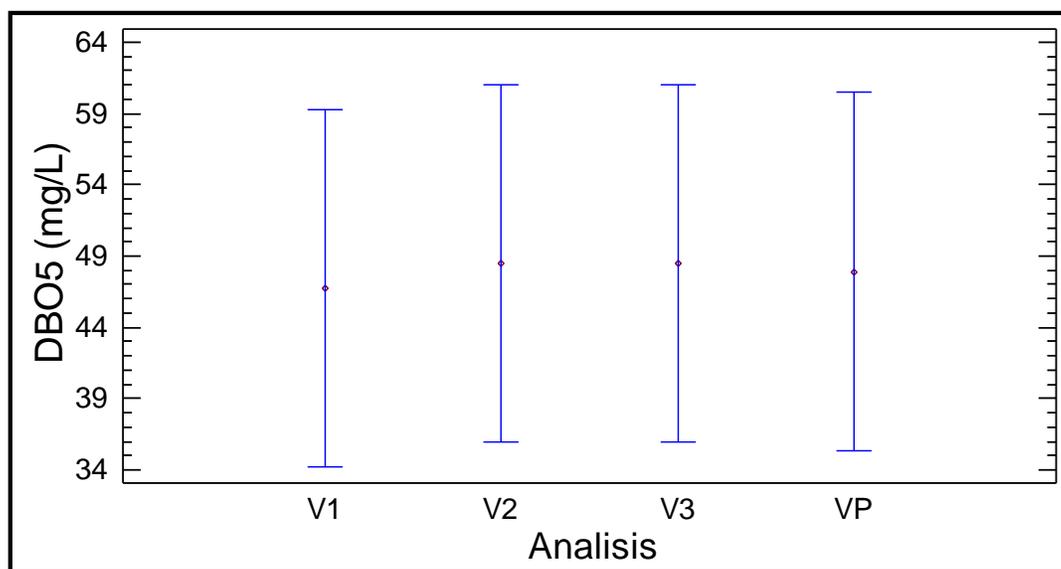


Figura 50 Análisis multivariable para DBO₅ con respecto al reactor con Lenteja de agua

En la Figura 51 (a) y 51 (b), se tienen una dispersión que estadísticamente es no significativa entre las 4 variables con 95 % de confianza, existe más variabilidad de los datos al final del análisis. La disminución del DBO₅ es una tendencia esperada en el tratamiento de aguas residuales

independientemente del sistema de remediación seleccionado, el porcentaje máximo normado por el TULAS de 100 % y en esta experimentación se tiene aproximadamente la mitad del valor inicial.

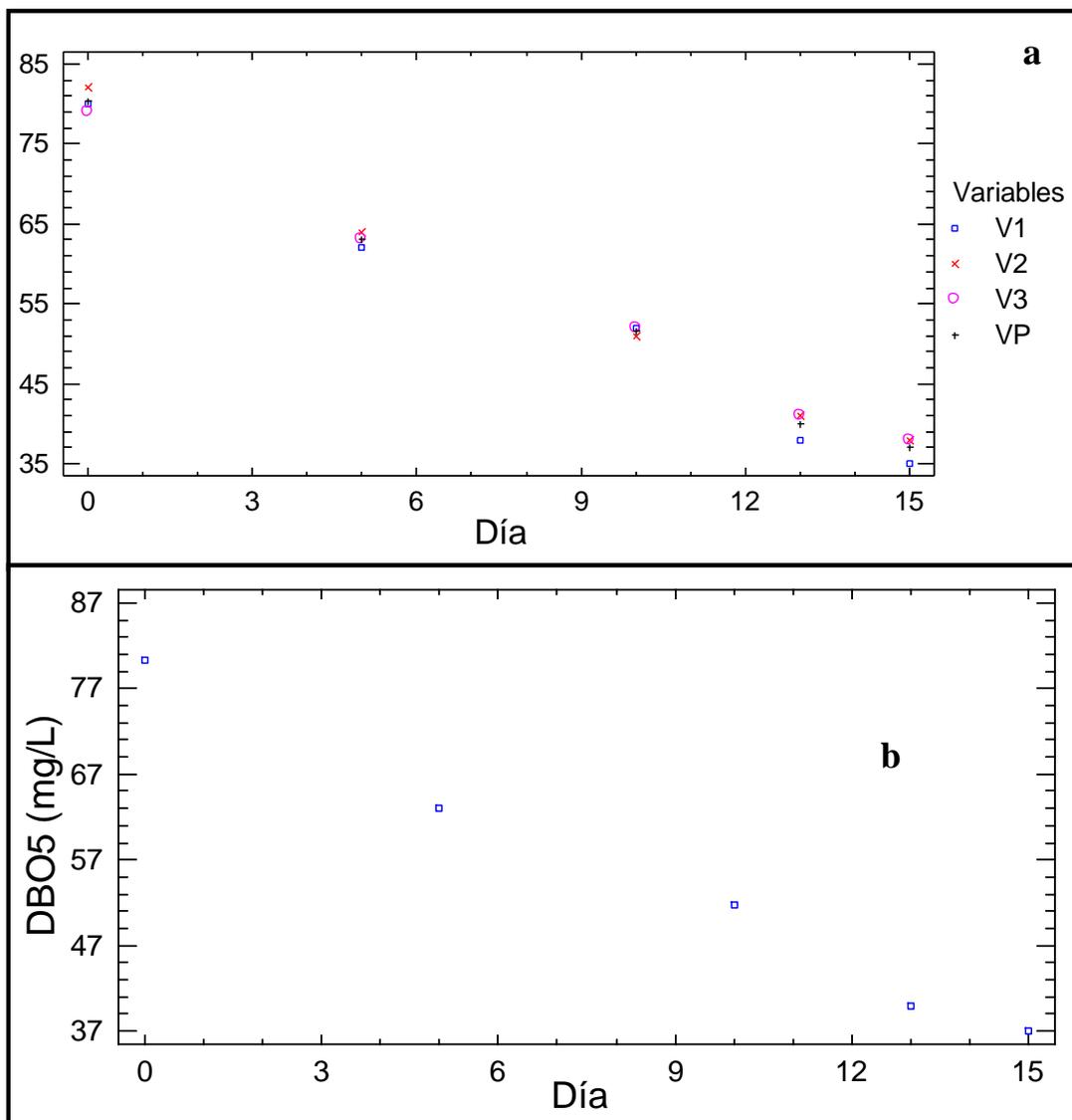


Figura 51 Gráfico de dispersión para el DBO₅ con Lenteja de agua

4.3.3 DQO

La demanda química de oxígeno (DQO), es un parámetro que de manera similar al DBO_5 revela la cantidad de oxígeno necesaria para para oxidar químicamente toda la materia orgánica presente en el agua, se debe considerar que la lectura del DQO siempre es mayor que el DBO_5 . En la Figura 52 se tiene el análisis multivariable al utilizar como planta acuática la Lenteja de agua. La relación entre el DBO_5 y la DQO es un indicador del tratamiento biológico, según (Ramalho, 2003) los valores de la relación DBO_5/DQO en aguas residuales municipales no tratados están entre un rango de 0,3 y 0,8 un valor inferior supone la presencia de constituyentes tóxicos mientras que un valor superior puede estar relacionado a un error en el estudio de laboratorio.

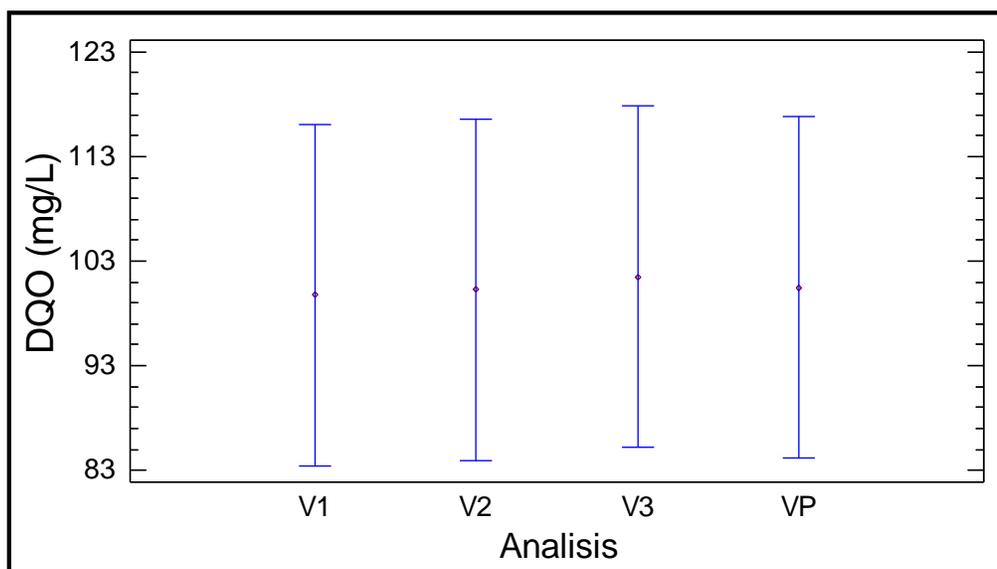


Figura 52 Análisis multivariable para el DQO con Lenteja de agua

En la Figura 53 (a) y 53 (b) se tiene la dispersión de los resultados, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza, la tendencia de disminución es similar a la reportada por (Garcia, 2012) para el DQO justificando que con el pasar del tiempo el oxígeno requerido es menor por la disminución de microorganismos que se requieren oxidar.

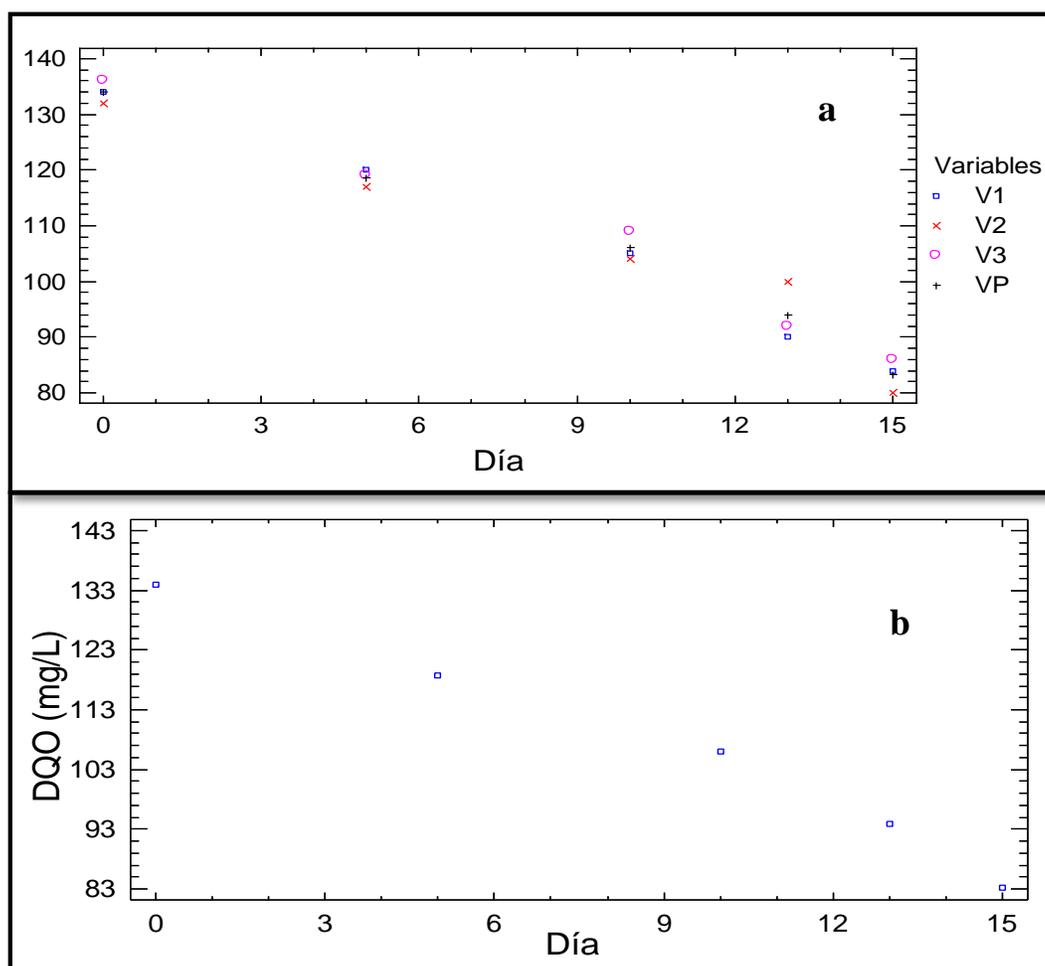


Figura 53 Gráfico de dispersión de los valores para el DQO con Lenteja de agua

4.3.4 Coliformes totales

Entre los parámetros biológicos analizados para la caracterización de aguas residuales se tiene a los coliformes que debe ser un valor mínimo según la normativa vigente de 1000 NMP/100mL. (Bracamonte & Medina, 2002) Resaltan que la disminución de los coliformes al realizar un tratamiento con plantas acuáticas es lo esperado y observado en la Figura 55 (a) y 55 (b), porque las macrofitas tienden a consumir de su recipiente microorganismos y nutrientes para lograr su supervivencia, eliminándolos así del agua.

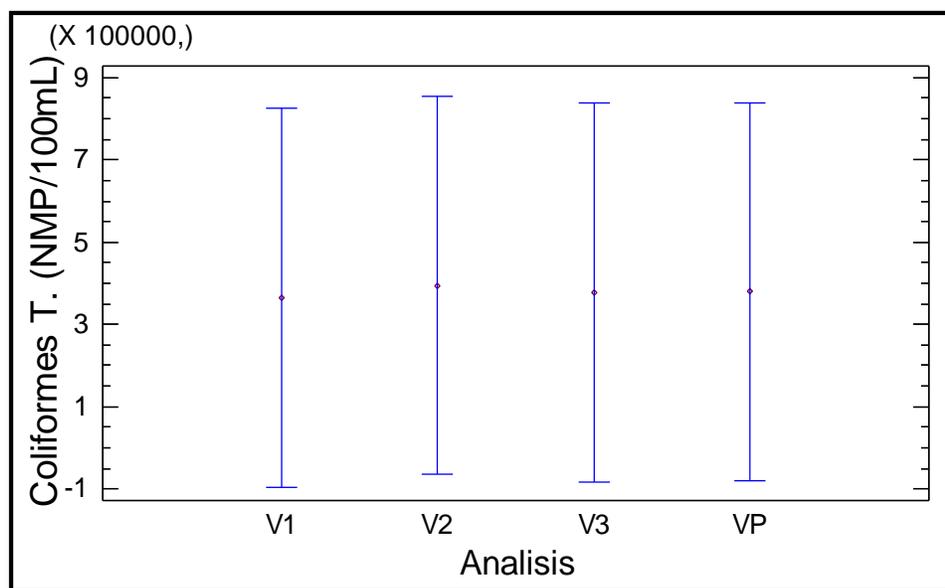


Figura 54 Análisis multivariable para los coliformes totales con Lenteja de agua

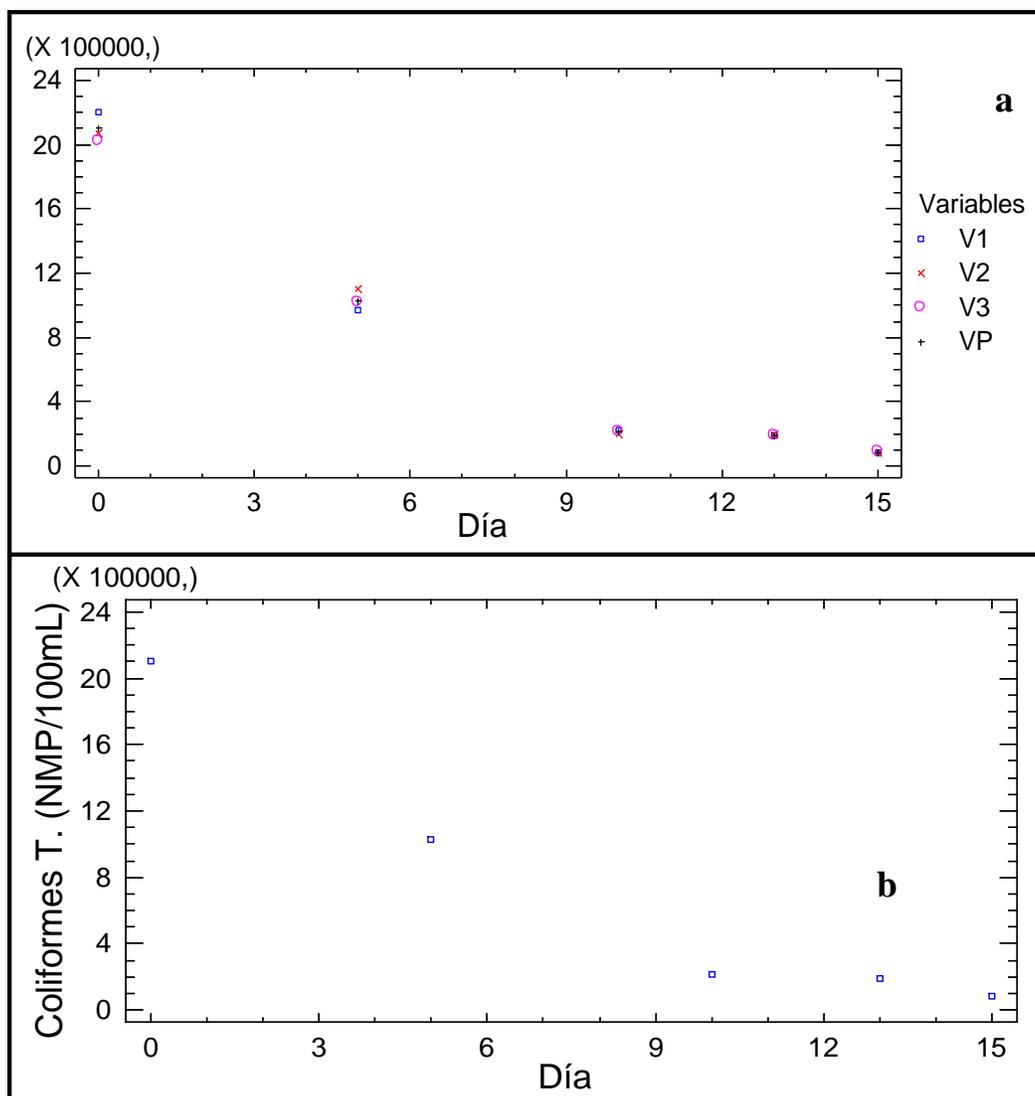


Figura 55 Gráfico de dispersión de coliformes totales con Lenteja de agua

En la Figura 54 se muestra que todas las variables evaluadas tienen un valor promedio cercano a $8,47 \text{ E}+04 \pm 2,55 \text{ E} +03 \text{ NMP}/100\text{mL}$ ($n=5$), superior al normado ($1000\text{NMP}/100\text{mL}$) para reutilizarla en el riego agrícola, por lo que no es óptimo evacuar las aguas de la planta de tratamiento para el riego de los cultivos de la parroquia.

4.3.5 Coliformes fecales

En la Figura 56 de la misma manera se observa que para los coliformes fecales el valor promedio es de $1,08 \text{ E}+04 \pm 5,14 \text{ E} +02$, sin embargo no se tiene estos parámetros dentro de norma con el uso de plantas acuáticas. En la Figura siguientes 59 (a) y 59 (b) se tiene la disminución de coliformes sin lograr la descontaminación.

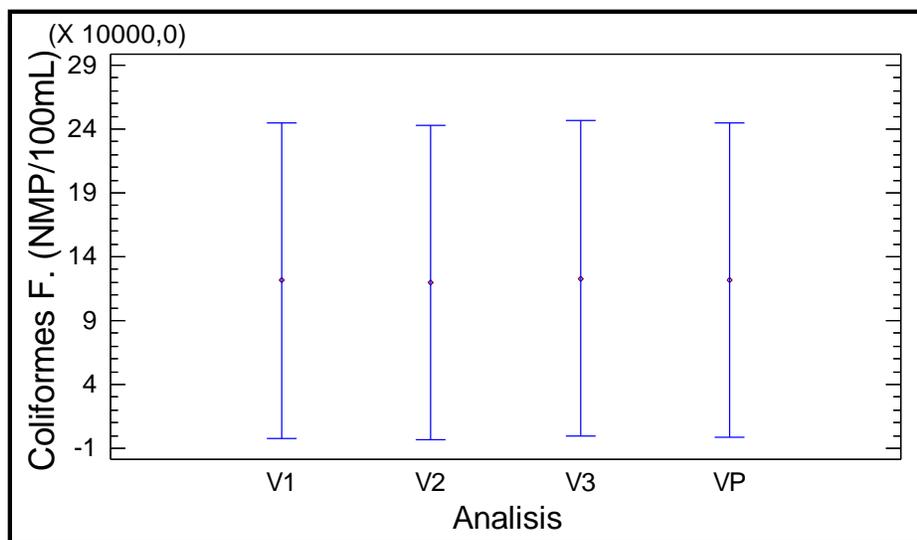


Figura 56 Análisis multivariable para los coliformes fecales con Lenteja de agua

La propuesta planteada para lograr la disminución de los coliformes fecales en las diferentes combinaciones planteadas garantiza que las plantas utilizadas son las mejores opciones, pero no justifica la disminución de este parámetro. Por lo que primero con las proyecciones de la población se acoge la propuesta de ampliar una plataforma de 8 estanques con *Lemma minor* en los mismos.

Además incluir un tratamiento terciario que garantice el cumplimiento de los coliformes según la normativa vigente.

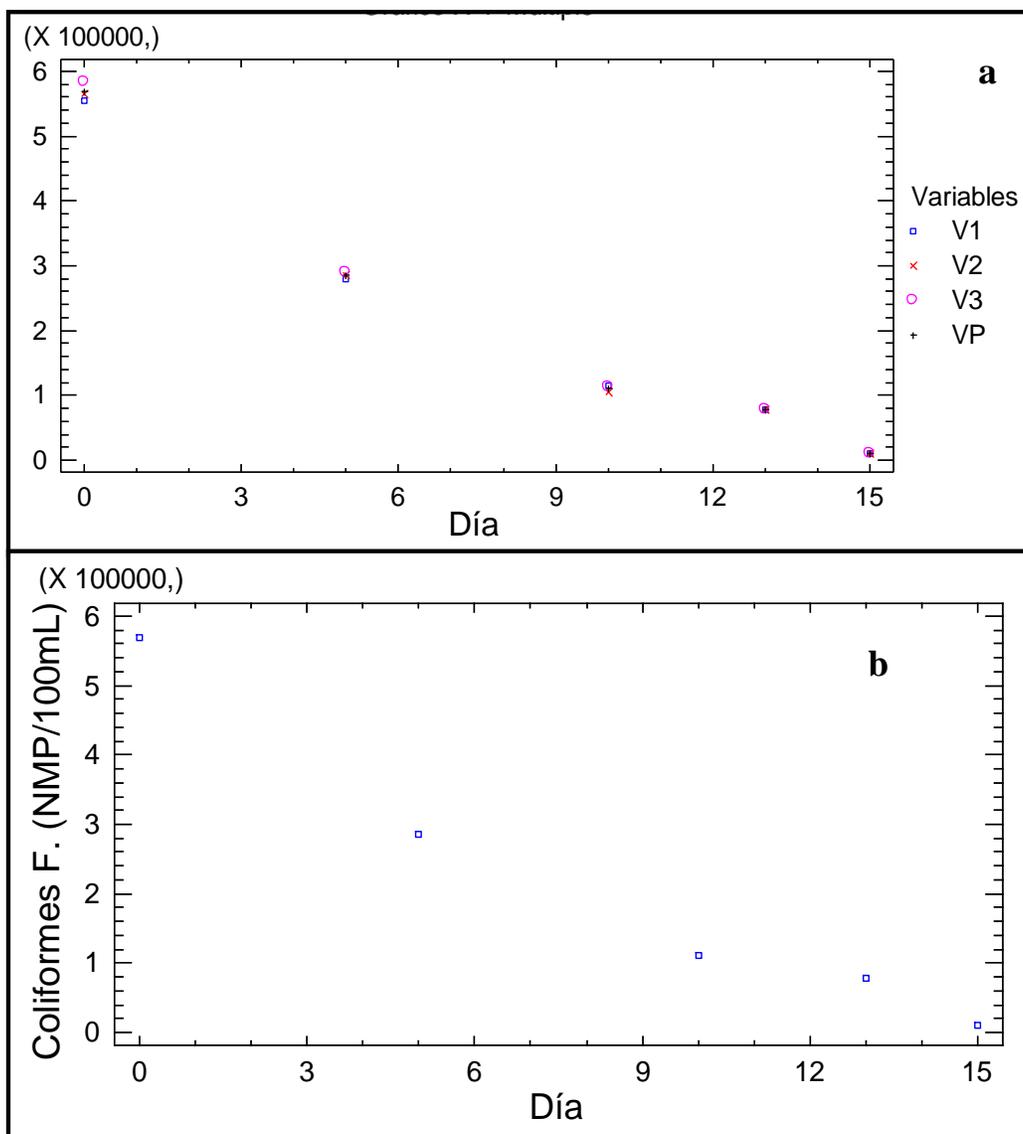


Figura 57 Gráfico de dispersión para los coliformes fecales con Lenteja de agua

4.3.6 Tratamiento terciario

4.3.6.1 Concentración de Cloro

Para la solución se tendrá una cloración luego de las plataformas con las plantas acuáticas, según (Ramalho, 2003) la dosis típica de cloro para la desinfección de las aguas residuales sin un tratamiento previo esta entre 6 – 25 mg/L considerando un contacto continuo con agitación, en las que se debe suponer condiciones de equilibrio y de mezcla compuesta. Para este caso se consideró 17 mg/L.

4.3.6.2 Tiempo de contacto

Para la eliminación se asume un porcentaje estimado de 99% considerando un $K= 0,24 \text{ min}^{-1}$ – $6,3 \text{ min}^{-1}$ asumiendo una reacción química de primer grado a temperatura entre 0 - 10 °C

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kt$$

Donde:

N= concentración final (1)

No= concentración inicial (100)

K= constante de reacción de primer grado =0,24

t= tiempo de contacto

$$t = \frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}{-k}$$

Tiempo de contacto de 9,59 min aproximadamente 10 minutos.

4.3.6.3 Concentración final de coliformes luego de la cloración

Considerando una remoción de 99 % con el tratamiento terciario propuesto se tiene que la concentración final para coliformes sería:

- Coliformes totales = 850 NMP/100mL
- Coliformes fecales = 108 NMP/100mL

4.3.6.4 Costo y cantidad de materia prima

Considerando un cloro granulado de concentración 85 % importado desde China a 1,25 USD/Kg, se estima un costo anual aproximado de:

$$12 \frac{L}{s} \times \frac{3600s}{1hora} \times \frac{24h}{1día} \times \frac{17mg}{L} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{850g} \times \frac{365día}{1año} = 7568,5 \frac{Kg}{año}$$

$$630,72 \frac{Kg}{mes} \times \frac{1,25 USD}{Kg} = 788,4USD/mes$$

4.3.6.5 Cálculo de almacenamiento de agua

$$12 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{hora}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \times \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} = 1036,8\text{m}^3$$

$$V_{\text{tanque}} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 H = 1036,8\text{m}^3$$

Altura = 4 metros

Diámetro = 17,84m

Material = Hormigón armado

Costo = 10000 USD

4.3.6.6 Cálculo del tanque de agitación

$$12 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{hora}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \times \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} = 1036,8\text{m}^3$$

$$V_{\text{tanque}} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 H = 1036,8\text{m}^3$$

Sobredimensión (25%) = 1296 m³

Altura = 4 metros

Diámetro = 4,54

Material = acero inoxidable

Costo = 10000 USD

En la Figura 58 se muestra el esquema del tanque de agitación, para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) – Chaltura se predispone la utilización de 4 tanques de agitación con 5 procesos en el horario de 4:00 am – 8:00 am que garantiza la temperatura de reacción, el tiempo de llenado y vaciado del tanque con agitación constante.

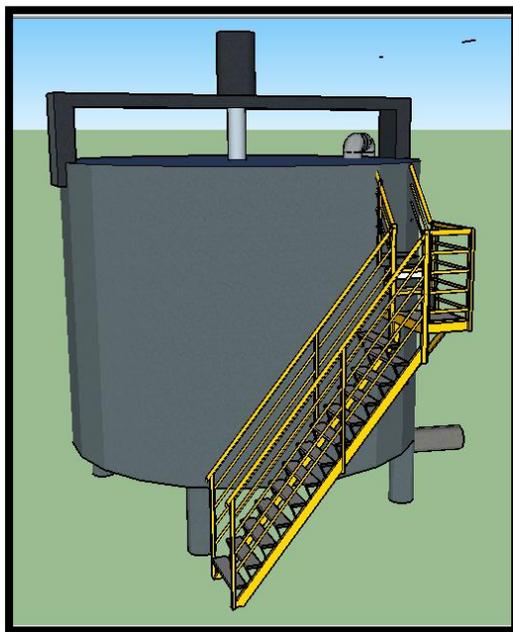


Figura 58 Esquema del Tanque de agitación

El agitador tiene las dimensiones que se muestran en la Figura 59, mientras que los cálculos para el dimensionamiento del motor y de la bomba se muestran a continuación:

$$Q_b = 12 \frac{L}{s}$$

$$P_b = \frac{Q_b H_b}{76\eta} = \frac{12 \frac{L}{s} \times 10m}{76(0,7 \times 0,7)} = 3,22 \text{ HP}$$

Se utilizara una bomba de 3,5 HP para subir el fluido a cada tanque de agitación de cloro con el agua residual del segundo tratamiento y un motor de 7 Hp para mover el agitador tipo ancla. Las plataformas tendrán una dimensión aproximada a las actuales de 38,0 m de largo, 3,0 m de ancho y 1,4 m de profundidad.

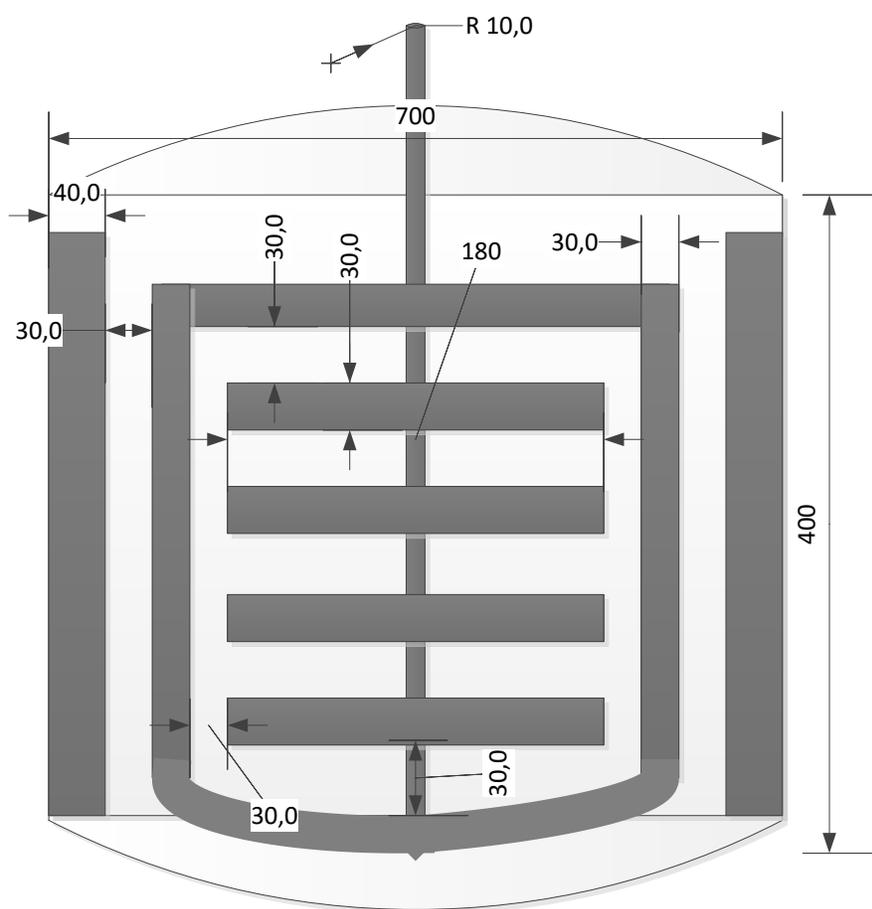


Figura 59 Dimensiones del agitador tipo ancla

El costo aproximado para la propuesta incluyendo la bomba centrífuga, los tanques de agitación es de 78 000 USD para un caudal de 12 L/s superior al 10,3 que opera la planta en la actualidad. El

costo fijo mensual en reactivo y mano de obra de un operario es de 1288,4 USD, en la figura 60 se observa la ampliación con el tratamiento terciario planteado para la descontaminación de las aguas residuales de la PTAR-Chaltura.

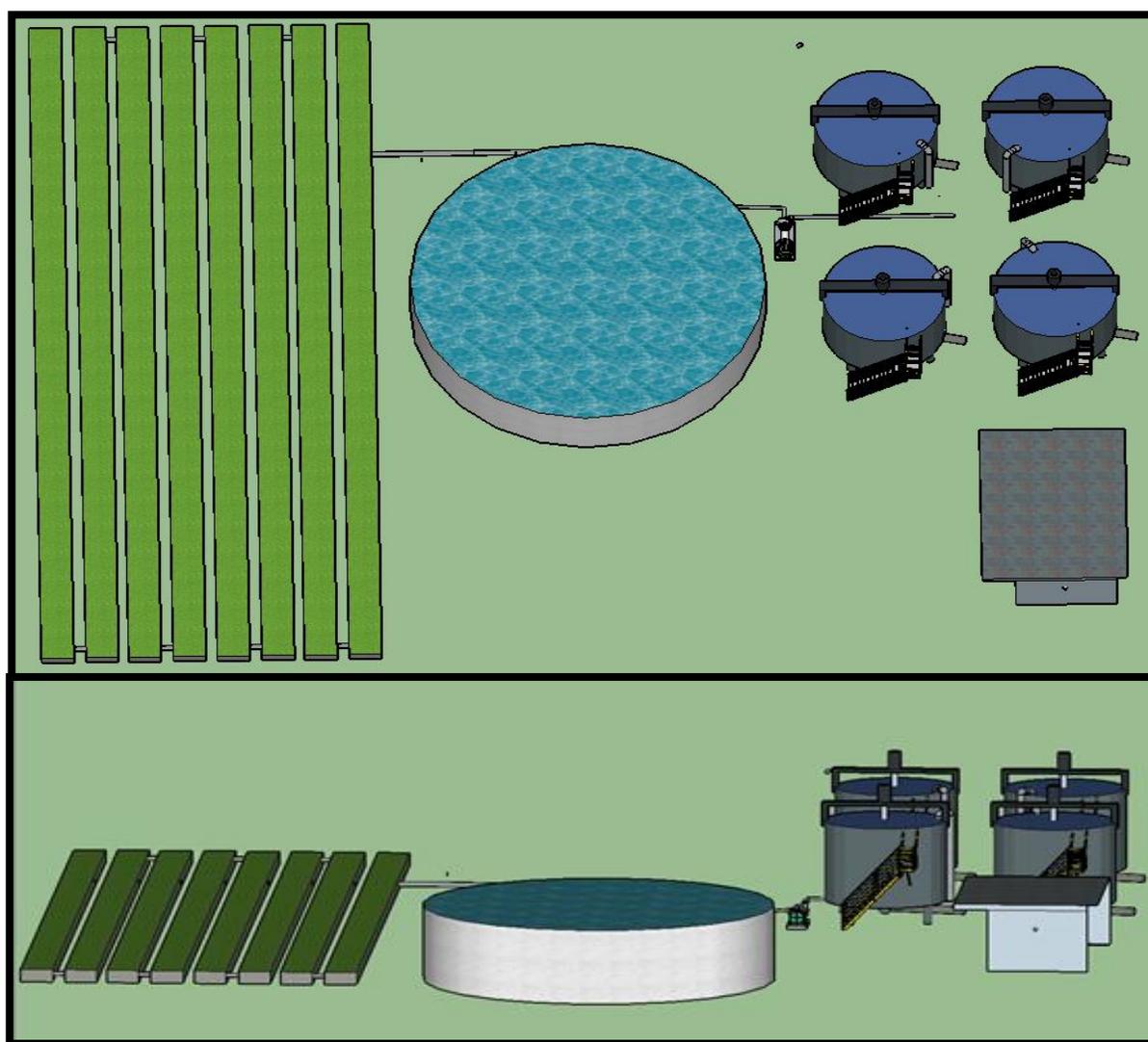


Figura 60 Diseño de la propuesta para descontaminar aguas residuales PTAR - Chaltura

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las aguas residuales no tratadas son una gran amenaza para la salud ya que son una difusión de enfermedades infecciosas por estar con microorganismos patógenos (bacterias, virus, entre otros).
- Para el DBO₅ se lograron obtener valores de 40,0 mg/L al ser tratadas con Jacinto de agua, mientras que el DQO disminuyó a 71,15 mg/L al utilizar la misma macrofitas, con remociones de aproximadamente 50 % para ambos casos.
- Los coliformes totales y fecales pese a tener la mayor disminución con Lenteja de agua no llegó a los normados por el TULAS o el Acuerdo Ministerial N° 097-A, reportando datos aproximados de 1,04 E+05 y 1,40 E+04 respectivamente con remociones porcentuales cercanas a 98 %.
- La disminución de los cuatro parámetros (DBO₅, DQO, coliformes totales y coliformes fecales), reporto de mayor eficiencia con el Jacinto de agua y la Lenteja de agua, situación que

corroborar la utilización de estas de dos plantas acuáticas para el tratamiento actual en la PTAR de San José de Chaltura.

- Se diseñó la propuesta de un tratamiento terciario de cloración que garantiza un valor aproximado de 850 NMP/100mL para coliformes totales y de 108 NMP/100mL para coliformes fecales para la descontaminación de las aguas residuales de la PTAR – Chaltura, cuantificación que está por debajo de los normados, cumpliendo así con el TULAS y el Acuerdo Ministerial 097-A vigentes para la parroquia.
- El costo de inversión es de 78 000 USD en 4 tanques de agitación, una bomba centrífuga de 3,5 HP y 4 motores de 7 HP para el agitador y una inversión mensual cercana los 1288,4 USD en materia prima para la cloración y mano de obra de un operario.

5.2 RECOMENDACIONES

- Las aguas residuales o aguas negras no tratadas son un gran riesgo por ser portadores de enfermedades pero al ser tratadas pueden ser usadas para beneficio de la agricultura aprovechándola como fertilizante orgánico.
- Para estudios posteriores se debe considerar la formación de compuestos halogenados que pueden generarse por la cloración del efluente contaminado, además de sus consecuencias para

el ambiente e indirectamente para la salud humana al ingerir alimentos que han sido hidratados con esta agua de riego.

- El estudio de las especies acuáticas que son utilizadas para abono de los terrenos aledaños al sector requieren un nuevo estudio para garantizar que su composición no ocasione impactos ambientales negativos que pueden ser perjudiciales a futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas programables. 1era edición*. España: Foinsa.
- Bracamonte, S., & Medina, L. (2002). *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales* (1era ed.). Madrid, España: Liber Factory.
- Buczacki, S. (2005). *Plantas acuáticas* (3era ed.). Toronto, Gran Bretaña: Tursen S.A.
- Buitron , R. (Noviembre de 2015). ¿Quiénes, en verdad, tienen que dejar de desperdiciar agua en Ecuador? *Gkillcity*(230), 171 - 172.
- Cabildo, P., García, A., & Pérez, M. (2012). *Reciclado y tratamiento de residuos* (2da ed. ed.). Madrid, España: Uned.
- Cevallos, J. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - PDOT 2011*. Ibarra: GAD.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (P. edicion, Ed.) Cochabamba, Bolivia: Universitaria.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2011). *Depuracion de aguas residuales por medio de humedales artificiales* (1era ed.). Cochabamba, Bolivia: Serie Tecnica.
- Elias, X. (2012). *Reciclaje de Residuos insdustriales* (2da ed. ed.). Madrid, España: Diaz de Santos.
- Garcia, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Giuseppina, D. (2007). *La contaminación de aguas en Ecuador*. Quito, Ecuador: Tallpa.
- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. 2da edicion*. Distrito Federal - México: Pretince Hall.

- INEN 1202:2013. (2013). *Agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno* (1era ed.). Quito, Ecuador.
- López, C., Buitron, G., García, H., & Cervantes, F. (2014). *Tratamiento biológico de aguas residuales - Principios, modelación y diseño*. London: IWA Press.
- Mantilla, P. (2017). *Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias de Chaltura y Natabuela del cantón Antonio Ante, de la provincia de Imbabura*. Proyecto de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra.
- Marsily, C. (2003). *El agua*. Distrito Federal - México: Flammarion.
- Martinez, S., & Rodriguez, M. (2005). *Tratamiento de aguas residuales con MATLAB* (3era ed. ed.). Distrito Federal, México: Mundi-Prensa.
- Montes, D. (2015). *El agua*. Recuperado el 08 de Agosto de 2017, de FAO: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s06.htm>
- Moreno, L. (2008). *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno* (2da ed.). Madrid, España: Henares.
- NTE INEN 1203:2013. (2013). *Demanda Química de Oxígeno (DQO)* (1era ed.). Quito, Ecuador.
- Olmos, R., Marqués, R., & Moreto, F. (2002). *El agua y el medio ambiente - Muestreo y análisis*. 1era edición. Mexicali - Baja California : Plaza y Valdes.
- Orozco, C., & Perez, A. (2011). *Contaminación Ambiental - Una visión desde la química* (2da ed.). Madrid, España: Cimapress.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y Diseño* (1era ed.). Madrid, España: Acodal.

- Osorio, F., Torres, J., & Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes* (2da ed.). Madrid, España: Díaz Santos.
- Pascual, M., & Calderon, M. (2010). *Microbiología Alimentaria* (Tercera ed.). Madrid, España: Díaz de Santos.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. . Barcelona - España: Reverte S. A.
- Ramos, R., Marqués, R., & Villalobos, F. (2002). *El agua en el medio ambiente - Muestreo y análisis*. California: Plaza y Valdes Editores.
- Ribas, J., & Fonfría, R. (2009). *Ingeniería ambiental - Contaminación y tratamientos*. Barcelona, España: Marcobo.
- Rigola, M. (2015). *Tratamiento de aguas industriale: Aguas de proceso y residuales* (1 era ed. ed.). Barcelona, España: Impreandes.
- Rodriguez, J., Gómez, E., Garavito, L., & López Franci. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas de agua y buchón de agua en humedales artificiales. *Revista Universitaria Manuela Beltrán*, 59-68.
- Weber, & Weber, W. (2003). *Control de la calidad del agua - Procesos fisicoquímicos* (1era ed.). Sevilla, España: Reverté S.A.