



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante filtros verdes para una industria quesera.

**Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Autores:**

Castañeda Cuzquillo Wilson Esteban

Orozco Guanoluisa Bolívar Mervin

**Tutora:**

MgS. Carla Silva

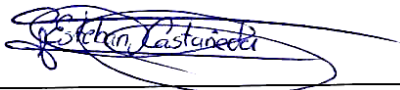
**Riobamba, Ecuador. 2022**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo, con cédula de ciudadanía 060413348-8 y Bolívar Mervin Orozco Guanoluisa, con cédula de ciudadanía 060396930-4, autores del trabajo de investigación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE FILTROS VERDES PARA UNA INDUSTRIA QUESERA**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Así mismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 19 de agosto 2022



Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo  
C.I: 060413348-8

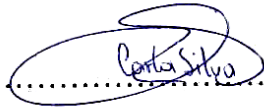


Bolívar Mervin Orozco Guanoluisa  
C.I: 060396930-4

## DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, elaborado por los señores Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo y Bolívar Mervin Orozco Guanoluisa, con el tema: **“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE FILTROS VERDES PARA UNA INDUSTRIA QUESERA”**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



MgS. Carla Fernanda Silva Padilla

Tutora del Proyecto

## CALIFICACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:  
**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MEDIANTE FILTROS VERDES PARA UNA INDUSTRIA QUESERA”**

**Presentado por:** Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo y Bolívar Mervin Orozco Guanoluisa

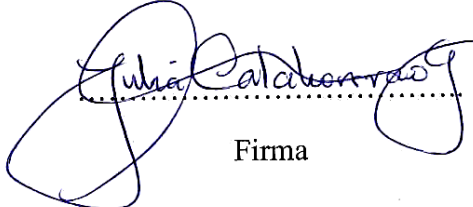
**Dirigido por:** MgS. Carla Fernanda Silva Padilla

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Dra. Julia Guadalupe Calahorrano Gonzales

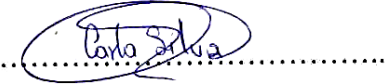
Presidente de Tribunal



Firma

MgS. Carla Fernanda Silva Padilla

Tutora del Proyecto



Firma

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo


Miembro del Tribunal



Firma

PhD. José Gregorio Prato Moreno

Miembro del Tribunal



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **CASTAÑEDA CUZQUILLO WILSON ESTEBAN** con CC: **0604133488** y **OROZCO GUANOLUISA BOLÍVAR MERVIN** con CC: **0603969304**, estudiantes de la Carrera **AMBIENTAL NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE FILTROS VERDES PARA UNA INDUSTRIA QUESERA**", que corresponde al dominio científico **HÁBITAT SUSTENTABLE Y SEGURO PARA EL DESARROLLO TERRITORIAL** y alineado a la línea de investigación **AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD**, cumple con el 1 %, reportado en el sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 03 de agosto de 2022



Firmado electrónicamente por:

**CARLA  
FERNANDA  
SILVA PADILLA**

Ing. Carla Silva  
**TUTOR**

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico a Dios, quien me ha permitido culminar con éxito esta hermosa etapa de mi vida, etapa que sin duda alguna no ha sido fácil pero tampoco imposible, a mi madre quien siempre me motiva con sus consejos, a mi padre que desde el cielo estará orgulloso de este logro, a mi hija Kamila, quien muchas veces tuve que posponer una salida al parque por una tarde de estudio, a mi esposa que con su manera de enfrentar la vida me ha enseñado a luchar por los sueños, a toda mi familia quienes también son parte de este magnífico logro que gracias a sus consejos no me extravié en el camino, a quienes ya no están físicamente conmigo, pero desde el cielo me mandan muchas bendiciones (Diego, Hildita, Carmita). Sin duda, me faltan palabras para agradecer a cada persona que a lo largo del camino contribuyeron para hoy cosechar este logro que sin duda alguna es de ustedes también.

*Esteban Castañeda*

La presente tesis dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Juan Orozco y Rosa Guanoluisa que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional.

A mis hermanas y mi novia por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi carrera universitaria

A mis amigos por confiar y creer en mí y darme su apoyo en los buenos y malos momentos de mi vida.

*Bolívar Orozco*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme el más lindo regalo que es la vida, a mi madre quien con sus consejos y valores me han orientado a ser una persona luchadora, a mi abuelita Rosita que con su amor siempre ha estado para mí, a mi esposa que ha estado siempre alentándome, a toda mi familia que confiaron y creyeron en mí, a la Universidad Nacional de Chimborazo, a la carrera de Ingeniería Ambiental, especialmente a los docentes quienes fueron parte de mi proceso académico, que más allá de dictar una clase, han transmitido un sentimiento hacia la excelencia. A mi colega Bolívar Orozco que siempre me ha brindado su amistad incondicional.

Agradezco a la Ing. Carla Silva quien con sus conocimientos ha logrado encaminar y sacar adelante el trabajo de titulación; a todos los miembros del tribunal que gracias a su paciencia y experiencia supieron orientar de manera correcta el presente trabajo.

*Esteban Castañeda*

Primeramente, le agradezco a Dios por ser el motor principal en mi vida, por acompañarme y permitirme confiarle mis anhelos con la certeza de que estos se materializarán. Les agradezco a mis padres porque desde muy pequeño me enseñaron el significado de perseverar y luchar por nuestros sueños.

A todos los docentes que me acompañaron a lo largo de este proceso, quienes me guiaron y forjaron como un profesional integro en mi área.

A mi colega Esteban Castañeda que desde el primer momento que cursamos una clase juntos me brindo toda su amistad incondicional y acompañarme en este largo camino que lo culminamos juntos.

Y mi más sincero agradecimiento a nuestra tutora Ing. Carla Silva por su ayuda, paciencia y dedicación quien nos supo guiar en el desarrollo de nuestra tesis para poder alcanzar nuestra meta planteada.

*Bolívar Orozco*

## **SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS**

<b>Q</b>	Caudal
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>MO</b>	Materia Orgánica
<b>Chpm</b>	Carga Hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo
<b>Etpm</b>	Evapotranspiración potencial mensual
<b>Prm</b>	Precipitación mensual
<b>Tim</b>	Tasa de Infiltración mensual
<b>Tid</b>	Tasa de Infiltración diaria
<b>S</b>	Superficie necesaria
<b>UFV</b>	Unidad de Filtro Verde
<b>UFC</b>	Unidades formadoras de colonias
<b>TULSMA</b>	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
<b>ANOVA</b>	Análisis de la Varianza



## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	
CALIFICACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Justificación.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO II.....	20
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes Investigativos.....	20
2.2 Fundamentación científica técnica.....	20
2.2.1 Industria Quesera.....	20
2.2.2 Suero de Leche.....	21
2.2.3 Composición de la Leche y del Lactosuero.....	21
2.2.4 Agua Residual.....	21
2.2.5 Filtros Verdes.....	21
2.2.6 Objetivos de los Filtros Verdes.....	22
2.2.7 Eficiencia de los Filtros Verdes.....	22
2.2.8 Tipos de Procesos con Filtros Verdes.....	23

2.2.9	Importancia de los Filtros Verdes.....	23
2.2.10	Descripción de las Características de los Filtros Verdes .....	24
2.2.11	Filtros Verdes en el Tratamiento de Aguas Residuales al Suelo .....	24
2.2.12	Impacto de los Filtros Verdes en la Emisión de GEI.....	24
2.2.13	Parámetros de Diseño .....	25
2.2.14	Cálculo del Caudal.....	25
2.2.15	Cálculo de la Carga Hidráulica de Diseño.....	25
2.2.16	Carga Hidráulica Basada en la Permeabilidad del Suelo.....	25
2.2.17	Cálculo de la Superficie Necesaria .....	26
2.2.18	Funcionamiento del Filtro Verde.....	26
2.2.19	Eucalyptus spp .....	26
2.2.20	Eficiencia del Eucalipto en la Remoción de Contaminantes .....	27
2.2.21	Mantenimiento de los Filtros Verdes.....	27
CAPÍTULO III .....		28
3. METODOLOGÍA.....		28
3.1	Selección y Reconocimiento del Área de Estudio .....	28
3.2	Análisis de las Aguas Residuales .....	28
3.2.1	Muestreo .....	28
3.3	Caracterización Física, Química y Microbiológica de las Aguas Residuales ..	29
3.4	Fase de Laboratorio .....	30
3.4.1	Determinación de Sólidos Suspendedos .....	30
3.4.2	Determinación de Demanda Química de Oxígeno DQO .....	30
3.4.3	Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno DBO <sub>5</sub> .....	30
3.4.4	Determinación Nitratos.....	31
3.4.5	Determinación Fósforo .....	31
3.4.6	Determinación de Coliformes Totales .....	31
3.5	Parámetros de Diseño .....	31
3.5.1	Medición del Caudal.....	31
3.5.2	Descripción del Área de Implantación del Filtro Verde.....	31
3.5.3	Sistema de Aplicación al Terreno.....	32
3.6	Selección del Cultivo.....	32
3.7	Marco de Plantación .....	32
3.8	Sistema de Alimentación .....	32

3.9	Obtención de Muestras .....	33
3.10	Mantenimiento del Sistema .....	33
3.11	Toma de Muestras Para el Monitoreo de la Calidad de Agua .....	33
3.12	Caracterización del Agua Tratada .....	33
3.13	Remoción de Contaminantes .....	34
3.14	Uso del Agua Tratada .....	34
3.15	Porcentajes de Remoción.....	34
3.16	Análisis de la Varianza (ANOVA).....	34
3.17	Manual de Operación y Mantenimiento .....	34
CAPÍTULO IV .....		35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		35
4.1	Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales .....	35
4.2	Parámetros de Diseño .....	35
4.2.1	Cálculo del Caudal.....	35
4.2.2	Cálculo Carga Hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo .....	36
4.2.3	Cálculo de la Superficie.....	37
4.3	Caracterización Física Química y Microbiológica del Agua Tratada .....	38
4.4	Análisis Estadístico Descriptivo del Muestreo .....	39
4.4.1	Análisis de Varianza Datos Obtenidos a Partir de la Medición del Caudal .....	39
4.4.2	Comprobación del Grado de Remoción de la Carga Contaminante y el Cumplimiento de los Parámetros de Calidad de Agua a Nivel Pre-Diseño .....	40
CAPÍTULO V. ....		51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		51
5.1	CONCLUSIONES .....	51
5.2	RECOMENDACIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍA .....		53
ANEXOS .....		59
Anexo 1. Manual de mantenimiento y operación para los filtros verdes .....		59
Anexo 2. Diseño del filtro verde .....		67
Anexo 3. Tabla 12, Libro VI, Anexo I Del TULSMA .....		71
Anexo 4. Informes de análisis de Laboratorio.....		73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros físicos, químicos y microbiológicos para monitoreo.....	30
<b>Tabla 2.</b> Cronograma de muestreo.....	33
<b>Tabla 3.</b> Resultados obtenidos del agua residual del efluente de la industria quesera .....	35
<b>Tabla 4.</b> Resultados obtenidos del agua tratada del efluente del filtro verde .....	38
<b>Tabla 5.</b> Comparación de los resultados obtenidos del agua residual, agua tratada y los límites máximos permisibles .....	38
<b>Tabla 6.</b> Medición del caudal en función del tiempo.....	39
<b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza para caudal .....	40
<b>Tabla 8.</b> Análisis de Varianza DQO .....	41
<b>Tabla 9.</b> Comparaciones en parejas de Tukey .....	42
<b>Tabla 10.</b> Análisis de Varianza DBO <sub>5</sub> .....	43
<b>Tabla 11.</b> Comparaciones en parejas de Tukey .....	44
<b>Tabla 12.</b> Análisis de Varianza NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	45
<b>Tabla 13.</b> Comparaciones en parejas de Tukey .....	46
<b>Tabla 14.</b> Análisis de Varianza PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> .....	47
<b>Tabla 15.</b> Comparaciones en parejas de Tukey .....	48
<b>Tabla 16.</b> Análisis de Varianza Sólidos Suspendidos.....	49
<b>Tabla 17.</b> Comparaciones en parejas de Tukey .....	49
<b>Tabla 18.</b> Síntesis del análisis de los parámetros en función de las muestras .....	50
<b>Tabla 19.</b> Equipos de Seguridad .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación Geográfica El Arriero B&C.....	28
<b>Figura 2.</b> Fases del sistema de aplicación.....	32
<b>Figura 3.</b> Superficie Experimental de los filtros verdes .....	37
<b>Figura 4.</b> Valores de DQO para cada muestra analizada.....	40
<b>Figura 5.</b> Valores de DBO <sub>5</sub> para cada muestra analizada.....	42
<b>Figura 6.</b> Valores de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> para cada muestra analizada.....	44
<b>Figura 7.</b> Valores de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> para cada muestra analizada.....	46
<b>Figura 8.</b> Valores de Sólidos Suspendidos para cada muestra analizada .....	48
<b>Figura 9.</b> Simbología del filtro verde .....	62

## RESUMEN

Se diseñó la propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa El Arriero B&C ubicada en la vía a Porlón de la ciudad de Riobamba, en vista que el agua residual generada es descargada sin ningún tipo de tratamiento al cuerpo de agua dulce incumpliendo con la normativa ambiental. Se realizó la medición del caudal utilizando el método volumétrico; durante los 5 días de la semana, con un intervalo de 10 minutos cada toma; el caudal promedio generado por la fábrica resultó de 0,749 L/s. Se hizo un muestreo del agua residual de tipo compuesto para realizar la caracterización física, química y microbiológica en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo para conocer los parámetros que se encuentran fuera de norma. Los resultados indicaron que el agua presenta valores elevados de Sólidos Suspendidos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Nitratos, Fosfatos, con valores de 2370 mg/L, 42350 mg/L, 26680 mg/L, 45 mg/L y 277 mg/L respectivamente; posterior se analizaron cinco muestras del agua tratada en el Laboratorio de Agua del GAD Colta. En base a los resultados obtenidos en la caracterización se escogió el sistema de tratamiento más adecuado para la implementación de un filtro verde con el cultivo arbóreo eucalipto que permita reducir la contaminación del agua; el mismo que es un proceso biológico con lo que se consiguió eliminar materia orgánica lo que se vio reflejado en la disminución de parámetros como la DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos suspendidos, Nitratos, Fosfatos y ajustarlos a los valores exigidos por la norma citada en el TULSMA, libro VI, anexo I, tabla 12, descarga a un cuerpo de agua dulce; concluyéndose de esta forma que el sistema de tratamiento es el idóneo para lograr descargar el agua tratada al cuerpo de agua dulce sin ningún problema.

**Palabras clave:** Industria láctea, agua residual, filtro verde, tratamiento no convencional.

## ABSTRACT

The proposal for a wastewater treatment system was designed for the company El Arriero B&C located on Porlón road in the city of Riobamba, given that the wastewater generated is discharged without any type of treatment into the body of fresh water, failing the environmental regulations. Flow measurement was performed using the volumetric method; during the 5 days of the week, with an interval of 10 minutes each shot; the average flow generated by the factory was 0.749 L/s. Composite wastewater sampling was carried out to perform the physical, chemical, and microbiological characterization in the Environmental Services Laboratory of the National University of Chimborazo to determine the parameters that are out of standard. Results indicated that the water has high values of Suspended Solids, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Nitrates, Phosphates, with values of 2370 mg/L, 42350 mg/L, 26680 mg/L, 45 mg/L and 277 mg/L respectively. Then, five samples of the treated water were analyzed at the GAD Colta Water Laboratory. Based on the results obtained in the characterization, the most appropriate treatment system was chosen for the implementation of a green filter with eucalyptus tree cultivation that allows reducing water contamination; which one is a biological process with it was possible to eliminate organic matter which was reflected in the decrease of parameters such as COD, BOD5, Suspended Solids, Nitrates, Phosphates and regulate them to the values required by the standard cited in the TULSMA, book VI, annex I, table 12, discharge to a body of fresh water; concluding in this way that the treatment system is the ideal one to discharge the treated water to the body of fresh water without any problem.

**Keywords:** Dairy industry, residual water, green filter, unconventional treatment.



Firmado electrónicamente por:

GABRIELA MARIA DELA  
CRUZ FERNANDEZ

Reviewed by:

Gabriela de la Cruz F. Msc

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0603467929

## CAPÍTULO I.

### 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población a nivel mundial va a un ritmo acelerado y para su desarrollo requiere de aguas superficiales y subterráneas, mismas que cada vez son escasas y de mala calidad, exigiendo la búsqueda de una adecuada gestión para optimizar el abastecimiento de agua potable y la depuración de aguas residuales. Surgen preocupaciones sobre cómo encontrar nuevos recursos capaces de ayudar a lograr un equilibrio entre la oferta y la demanda. Para 2025, se estima que el 80% de la población de la Tierra vivirá en condiciones de alta escasez de recursos hídricos (UNESCO, 2022). La producción de aguas residuales en el 2005 fue responsable de generar el 5% de las emisiones globales de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), y se prevé que estas emisiones aumenten un 27% para 2030 (Weisner, 2018).

El tratamiento de aguas residuales ha evolucionado a diferentes ritmos a lo largo de la historia; durante milenios, se vertían en las fuentes de agua y, alternativamente, se vertían sobre los campos para aumentar la fertilidad del suelo (Silva, 2018). La aplicación, con o sin cultivos, se mantuvo activa hasta el siglo XX y actualmente se practica en países en vías de desarrollo o donde el agua escasea y el manejo de los sistemas de saneamiento está poco desarrollado, siendo México uno de los principales países latinoamericanos en utilizar aguas residuales para riego forestal (ONUA, 2017).

Desde hace muchas décadas, los filtros verdes han dado un nuevo ciclo a las aguas residuales y han eliminado el exceso de contaminación en los cuerpos de agua receptivos en todo el mundo. La espesa vegetación retiene y transforma un porcentaje importante de la materia orgánica transportada por el agua. Sin embargo, fue gracias al trabajo de profesionales de la Universidad Politécnica de Madrid y de la Fundación Global Nature de España que esta tecnología fue efectivamente estructurada y optimizada para su difusión y aplicación (Callejas & Guzmán, 2018).

Existen varias impurezas presentes en el agua contaminada que afectan negativamente la cadena alimentaria, humanos, animales, plantas, entre otros. Diferentes cuerpos de agua se contaminan a través de materiales tóxicos que se ejecutan a través de industrias, desechos electrónicos, tintes, compuestos químicos, debido a que el nivel de contaminación aumenta significativamente. Es necesario eliminar estos elementos del agua contaminada para proteger al medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para conservar a las nuevas generaciones. Anteriormente se utilizaron muchas técnicas para eliminar los contaminantes del agua. Pero hoy en día, se utiliza una técnica reciente "Filtros verdes", considerados como ecológicos y rentables para eliminar los contaminantes del agua residual (Verna, 2019).

En el Ecuador se conoce que la actividad ganadera es una de las principales fuentes económicas, es por ello que según datos obtenidos durante los últimos años la producción lechera a nivel nacional ha crecido favorablemente, la región Sierra cuenta con mayor cantidad de vacunos, puesto que la ganadería es uno de los reglones de mayor importancia del sector agropecuario. Respecto a la producción de leche, la región Sierra es la que más aporta con un 78%, seguido de la Costa con el 19% y el Oriente con el 3% (INEC, 2019). A



pesar de su importancia la actividad ganadera produce un alto índice de contaminación que afecta los recursos hídricos de una comunidad con un impacto negativo en la calidad del agua y la salud de las personas.

En la provincia de Chimborazo la industria láctea en su línea de producción genera gran cantidad de residuos líquidos tales como leche diluida, leche separada, crema, suero, grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno con elevado contenido de materia orgánica que los convierte en un potencial contaminante para los sitios en donde serán evacuados. Estos residuos además contienen sustancias altamente corrosivas utilizadas en las actividades de limpieza, agudizando más el problema de contaminación (Sáenz, 2013).

Hace varios años se ha venido desarrollando la depuración de aguas residuales provenientes de la industria láctea con tratamientos de tipo convencional que requieren mayor inversión; sin embargo, en la actualidad el uso de tecnologías no convencionales ha tomado fuerza en el área de tratamiento de aguas residuales, donde se utilizan nuevos métodos que brindan beneficios ambientales; entre estos se destacan los filtros verdes que se encargan de reducir la carga contaminante, su operación y mantenimiento es rentable, generando así, un cambio en los procesos corrosivos del ambiente y al mismo tiempo creando para la industria un ingreso económico adicional (Guerra, 2015).

### **1.1. Planteamiento del problema**

Las actividades industriales dan lugar a la formación de una serie de residuos, que, en cualquiera de sus formas, se liberan al medio ambiente y provocan el deterioro de las propiedades originales del suelo, el agua y el aire.

Los problemas ambientales más evidentes en la industria láctea son la producción de aguas residuales, principalmente por la cantidad de propiedades orgánicas y cargas contaminantes, debido a la limpieza de equipos, superficies, restos de leche y lactosuero (Escuela Organización Industrial, 2008).

La industria El Arriero B&C se dedica a la elaboración de productos lácteos, tales como queso fresco y queso mozzarella. En la actualidad esta microempresa produce 300 quesos al día. Para la elaboración de dichos productos se consume gran cantidad de agua, que es la fuente necesaria para garantizar las condiciones higiénicas y sanitarias solicitadas en cada uno de los procesos.

Las características de las aguas residuales provenientes de la empresa El Arriero B&C presentan alto contenido de materia orgánica, debido a la presencia de componentes como aceites y grasas provenientes de la leche, niveles elevados de nitrógeno y fósforo provenientes de los vertidos de soluciones ácidas y básicas por los productos de limpieza y desinfección, conductividad elevada debido al vertido de cloruro de sodio procedente del salado del queso (Lema, 2021).

La descarga de estos efluentes sin tratamiento previo se convierte en un foco contaminante dando lugar en los cuerpos receptores, lodos ácidos de color negro causados por la descomposición de la caseína en ácido butírico alterando el hábitat natural, de gran cantidad

de especies, además de problemas de salud para la población aledaña a los cuerpos receptores (Carhuamaca, 2013).

En el territorio ecuatoriano se han establecido multas para empresas o personas que viertan agua contaminada sin autorización técnica emitida por la autoridad competente a través de la Regulación Nro. DIR-ARCA-RG-001-2016 de la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) Capítulo III. Sanciones. Artículo 10.- Infracciones y Artículo 11.- Multas (ARCA, 2016).

Debido a lo anteriormente descrito, es evidente la problemática de contaminación que ocasiona la industria quesera al no contar con un sistema de depuración de aguas residuales que garantice el cumplimiento de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## **1.2. Justificación**

Los filtros verdes son sistemas que van más allá de una simple depuradora, a más de tratar el agua, la producción de biomasa, ya sea de gran calidad (ciclos mayores a 10 años) o de forma intensiva (ciclos de corta de 2 a 3 años), genera un subproducto con valor comercial que reduce los costes finales de operación y mantenimiento. Además, el valor añadido generado por la captura y fijación de CO<sub>2</sub> en los procesos de crecimiento de la biomasa, puede suponer un input a tener en cuenta en el caso de instalaciones de mayor tamaño (IMDEA, 2017).

La implementación de filtros verdes genera varios impactos positivos a la salud pública de la población, evitando enfermedades para una mejora en la calidad de vida. Adicionalmente, se contribuye, por medio de la implementación en generar conocimiento y, por ende, en la confianza hacia la eficiencia y buen desempeño de las tecnologías blandas o no convencionales (Rodríguez, 2014).

Los filtros verdes forman parte de los sistemas de aplicación sobre el terreno y son los llamados sistemas de riego superficial, siendo uno de los objetivos del tratamiento el desarrollo y aprovechamiento de ciertos cultivos, mediante la incorporación de las aguas residuales sobre los cultivos, en donde la acción de las plantas, suelo y microorganismos presentes en el suelo depuran el agua residual mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Orozco, 2011).

Es factible la reducción de contaminantes, tales como coliformes totales y materia orgánica del efluente, mediante la metodología de depuración por filtros verdes. Con este sistema se contribuye a la reutilización del agua residual, de manera que pueda ser utilizada en la reforestación de zonas áridas (Brito, 2018).

En el Gobierno de España, el Instituto Madrileño de Estudios Avanzados (IMDEA) Agua y la Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), desarrollan el proyecto FILVER+, que consiste en implementar un filtro verde que actúe como tratamiento secundario, en donde se maximice la eliminación de nutrientes, microorganismos patógenos y contaminantes emergentes mediante la aplicación de enmiendas de bajo coste y fácil adquisición (como las astillas de chopo y el biochar) con el fin de reducir sus requisitos de

superficie y aumentar la calidad del agua infiltrada, para así disminuir las afecciones al acuífero subyacente (Landaburu, 2017).

La Secretaría Nacional de Planificación del Gobierno del Encuentro de la República del Ecuador, formuló el Plan de Creación de Oportunidades 2021 - 2025 en el Eje de Transición Ecológica - Recursos Hídricos señala “Se busca el manejo sostenible, integral e integrado de los recursos hídricos, en pro de la protección, recuperación y conservación del agua, todo esto de conformidad con la Ley establecida para este fin y los lineamientos técnicos que dicte la Autoridad Única del Agua en coordinación con los diferentes niveles de gobierno relacionados directamente con su gestión (Secretaría de Planificación República de Ecuador, 2021).

El tratamiento de aguas residuales en el Ecuador mediante la utilización de filtros verdes es uno de los sectores donde no se invierte en la actualidad, ya que apenas el 10% de la totalidad de aguas residuales cuentan con algún tipo de tratamiento convencional antes de ser descargadas en ríos, lagunas y lagos (Díaz, 2017).

La industria de lácteos “El Arriero B&C”, genera volúmenes de agua residual que son descargados sin ningún tratamiento previo. Por tal razón se realizó la propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante filtros verdes para una industria quesera, con el fin de reducir la carga contaminante presente en el agua residual.

El proyecto se justifica en la realización de la propuesta a través de la cual se busca implementar una solución a un problema de tipo ambiental como es la generación de efluentes líquidos; al mismo tiempo tratarlos para su descarga final bajo los parámetros exigidos y citados en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente TULSMA, libro VI, anexo I, tabla 12.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante filtros verdes para una industria quesera.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Realizar una caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales.
- Determinar los parámetros de diseño de los filtros verdes.
- Comprobar el grado de remoción de la carga contaminante y el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua a nivel pre-diseño.
- Elaborar un manual de mantenimiento y operación para los filtros verdes.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

Los filtros verdes son tratamientos que suelen ser menos sofisticados y costosos en cuanto a operación y mantenimiento que los convencionales. Requieren mayores extensiones de terreno, además deben adaptarse a las incertidumbres de tipo climático o socioeconómico pero se ha demostrado que también llevan a soluciones costo efectivas, así como eficaces para eliminar la contaminación de materia orgánica e incluso de elementos como el nitrógeno y el fósforo (Aguirre, 2019).

El estudio realizado por investigadores de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), en colaboración con el Instituto IMDEA Agua y la Fundación CENTA, señalan el alto rendimiento de este tipo de depuración de aguas a partir de plantaciones forestales, basados en procesos naturales como, por ejemplo, los humedales o los filtros verdes (IMDEA, 2017).

La aplicación de la depuración mediante filtros verdes respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consiguen la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional. En cuanto a la descontaminación bacteriana se consiguen unos factores de reducción del número de bacterias de contaminación fecal entre  $10^5$  y  $10^6$ , lo que depende del tipo de filtro verde y de la carga bacteriana (Gandarillas, 2016).

A lo largo de los años se han desarrollado nuevas técnicas que utilizan filtros verdes para eliminar los contaminantes del agua. Estas técnicas son rentables y fácilmente disponibles, no dañan el medio ambiente (Domínguez, 2019). Las especies comúnmente utilizadas en el proceso de depuración son el sauce (*Salix* spp.), el chopo (*Populus* spp.) y el eucalipto (*Eucalyptus* spp.), ya que tienen una alta capacidad de depuración, asimilación de nutrientes y rápido crecimiento.

Es así como los sistemas agroforestales tienen un gran potencial para la captura de carbono considerándolos como una medida de mitigación para reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (Silva, 2018).

#### 2.2 Fundamentación científica técnica

##### 2.2.1 Industria Quesera

Es un tipo de actividad perteneciente al grupo de industrias lácteas, del sector alimenticio que tiene como producto fundamental la elaboración de quesos de uno o varios tipos (Latorre, 2018).

### **2.2.2 Suero de Leche**

El suero se entiende como la parte líquida de la leche que queda después de separar la leche cuajada en la fabricación del queso (FAO, 2018).

### **2.2.3 Composición de la Leche y del Lactosuero**

La leche se considera un alimento básico y equilibrado por su elevado contenido en nutrientes en relación a su contenido calórico; tiene por esto una excelente densidad nutricional. Es una importante fuente de energía (una ración media de 200 mL, aporta 130 kcal, 6,2 g de proteínas y 7,6 g de grasas). Su principal componente es el agua, entre un 68% - 91%. La leche aporta proteínas de alto valor biológico e hidratos de carbono, fundamentalmente en forma de lactosa, además de grasas y minerales como calcio, magnesio, fósforo y zinc, así como vitamina D, A y complejo B, especialmente la vitamina B12 y la riboflavina (Plus, 2020).

### **2.2.4 Agua Residual**

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (García, 2018).

### **2.2.5 Filtros Verdes**

Un filtro verde es un sistema formado por terreno cubierto de cultivos agrícolas o plantaciones forestales, sobre el que se distribuyen periódicamente aguas residuales, con el fin de conseguir su depuración mediante la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas, con una triple acción física, química y biológica (Gandarillas, 2016).

El término “tecnología verde de aguas residuales” indica un rumbo hacia enfoques sostenibles, ecológicos y ambientales en el tratamiento de aguas residuales. En Noruega, se aplica a cualquier instalación hecha por el hombre que imite un ecosistema natural con respecto a su función en el control de la contaminación ambiental a través de varios procesos, químicos y biológicos (Domínguez, 2019). En la práctica, dicho sistema de tratamiento opera a través de un complejo de sinergias entre el suelo, el agua, la vegetación y la atmósfera, por lo tanto, se denomina más específicamente sistema de tratamiento basado en la naturaleza (NBTS) (Palacios, 2017).

Existen diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales, incluido el método no convencional llamado filtros verdes, que aprovecha el suelo. El suelo es un medio complejo, reactivo, fértil, permeable y es el primer filtro de agua, estos proporcionan dos servicios ambientales: como amortiguador, para almacenar agua, carbono y nutrientes, así como para albergar flora y fauna; y en filtración, permitiendo el paso de agua (Silva, 2018).

Los filtros verdes tienen la ventaja de ser una infraestructura de bajo costo, en cuanto a operación y mantenimiento, no requieren de mano de obra calificada para su implementación. Como sistema alternativo a las depuradoras tradicionales, los filtros verdes

tienen la ventaja de no consumir energía ni productos químicos. Además de tener bajos impactos negativos sobre el medio ambiente, contribuyen significativamente a mejorar la estética del paisaje (Yapu, 2018).

Como agente filtrante, el sistema está constituido por un área de terreno donde se establecen especies vegetales, la cual es regada con aguas residuales a través de un sistema de riego, desarrollando procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan en el ecosistema suelo-agua-cultivo, con el fin de eliminar casi todos los contaminantes del agua, incluidos los sólidos en suspensión, el nitrógeno y el fósforo, alcanzando una depuración de hasta el 98% en los primeros centímetros del suelo (Delgadillo, 2018).

Este tipo de agua se utiliza para riego desde el siglo pasado de forma controlada en varios puntos de Europa, Australia, India y EE. UU; cuando se crearon los “campos de aplicación”, como señalan Braatz & Kandiah (2016) en su artículo, mientras que algunas plantas de tratamiento evacuan parte del efluente para regar campos de golf y zonas áridas o semiáridas en las que existe escasez de agua. Esto se ha generalizado, por ejemplo, en China se han regado más de 1,33 millones de hectáreas de tierras de cultivo. Parte de esto va a las zonas rurales donde vive el 67% de la población de este territorio, por lo que naturalmente se han incrementado los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Aguilar, 2011).

En California, EE. UU; las aguas residuales se aplican en gran medida al riego agrícola; estos efluentes tratados se utilizan en diversos cultivos alimentarios, como manzanas, brócoli, lechuga y algodón. Especies arbóreas como el cascol (*Enterolobium cyclocarpum*) o el guayacán (*Guaiacum officinale*) tienen un porcentaje superior al 90% de supervivencia al riego con este tipo de agua (Aguilar, 2011).

El criterio de calidad del agua, generalmente aplicado en la reutilización agrícola, se basa principalmente en aspectos microbiológicos debido a la presencia de patógenos, sólidos disueltos totales y aspectos salinos como parámetros más específicos para la reutilización del agua. (Guerra, 2018). En base a esto, se analiza la calidad del efluente por medio de coliformes totales, que son las bacterias que producen colonias fluorescentes cuando están expuestas a la luz ultravioleta, y la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

### ***2.2.6 Objetivos de los Filtros Verdes***

La aplicación de la depuración mediante filtros verdes respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional (Gandarillas, 2016).

### ***2.2.7 Eficiencia de los Filtros Verdes***

Los filtros verdes presentan una elevada eficiencia por su adaptación a variaciones de carga y caudal, además como tecnologías de aplicación para el tratamiento y reutilización de aguas residuales, gracias a la acción conjunta del suelo, microorganismos y vegetación, resultan ser eficientes en la reducción de contaminantes (Silva, 2018).

Cuando el filtro verde se mantiene correctamente, la eficiencia de este tipo de tratamiento es similar a las técnicas convencionales de tratamiento de aguas residuales. El proceso de filtrado puede eliminar del 80 al 95% de la DBO, hasta el 80% de los nutrientes (P y N) y hasta el 90% de todos los patógenos, evitando el desarrollo de malos olores y enfermedades (Bohórquez, 2017).

### ***2.2.8 Tipos de Procesos con Filtros Verdes***

Los filtros verdes se clasifican en tipo I y tipo II.

**Sistemas tipo I:** su principal objetivo es el tratamiento de las aguas. Este tipo se caracteriza porque la carga hidráulica no está controlada por la demanda de agua de la especie vegetal implantada.

**Sistemas tipo II:** su objetivo principal se orienta a la reutilización de las aguas residuales. En este caso la carga hidráulica viene condicionada por los requisitos concretos de la especie vegetal implantada (IMDEA, 2017).

### ***2.2.9 Importancia de los Filtros Verdes***

Los filtros verdes se utilizan para la remediación sostenible del agua y el tratamiento para eliminar cargas contaminantes procedentes de material orgánico (Torres, 2019). Por ejemplo, los recientes avances en el campo de la nanotecnología y las mayores aplicaciones de las nanopartículas han permitido conocer los recursos no explotados que ya existen en la naturaleza para el desarrollo de nuevos métodos de síntesis de nanopartículas (NP). Por lo general, las nanopartículas se pueden formar fácilmente mediante métodos físicos y químicos.

Las nanopartículas se definen como materiales con un tamaño entre 1 y 100 nm. Su tamaño nano les proporciona más áreas de superficie que las formas a granel correspondientes. Estas propiedades especiales han fomentado el desarrollo de la nanociencia y la aplicación de las NP en una amplia gama de campos como la biomedicina, la cosmética, la electrónica, la alimentación y la remediación medioambiental (Fuentes, 2019).

Los filtros verdes se utilizan a bajo costo, son seguros y están fácilmente disponibles para el tratamiento de la contaminación de aguas residuales. El propósito del tratamiento de las aguas residuales contribuye a la existencia antropológica, el valor de la vida humana y la vida acuática. La necesidad de nanotecnología de filtros verdes para el tratamiento de agua contribuye a la población a buscar mejoras económicas con el fin de obtener aguas descontaminadas a través de un dispositivo de tratamiento (Fuentes, 2019).

Un filtro verde es una alternativa sostenible, eco amigable y rentable para el tratamiento de efluentes de aguas residuales originadas del uso doméstico y actividades agrícolas que generalmente son desviadas directamente a cuerpos de agua naturales sin ser tratadas, causando enfermedades y deterioro del agua a nivel mundial. Es una tecnología que se puede adaptar fácilmente en comunidades con difícil conexión al sistema central de tratamiento o aquellas que buscan una gestión más sostenible y autónoma de sus aguas residuales (Callejas & Guzmán, 2018)

### ***2.2.10 Descripción de las Características de los Filtros Verdes***

El llamado filtro verde es una solución rentable para el tratamiento de aguas residuales basada en procesos naturales de degradación de contaminantes. El filtro verde consiste en una red de canales o surcos abiertos que reciben aguas residuales después de un tratamiento primario básico. A continuación, se efectúa una descripción del proceso de manera sencilla:

1. Las raíces funcionan como sustrato para las bacterias y forman la parte central del proceso de filtración.
2. El agua entra en contacto con las raíces y bacterias.
3. El material orgánico se mineraliza en nutrientes que son utilizados por las plantas para un proceso fotosintético. Estos mecanismos de remoción de contaminantes son una combinación de rutas metabólicas bacterianas complementarias que varían en abundancia.
4. Los sólidos chocan con las raíces y quedan atrapados o se depositan en el suelo.

### ***2.2.11 Filtros Verdes en el Tratamiento de Aguas Residuales al Suelo***

En los filtros verdes la depuración se produce de forma natural, en base a principios ecológicos y biológicos que complementan o reemplazan las obras civiles actuales. Su proceso consiste en una superficie de plantación forestal (principalmente chopos, sauces o eucaliptos) sobre la que se aplica un caudal controlado de agua residual, donde la filtración física, la absorción en el suelo, la biodegradación y la absorción de la planta son los principales factores físicos, procesos químicos y biológicos. Con la acción conjunta entre el suelo los microorganismos y las plantas son responsables de la atenuación de los contaminantes, son óptimos y recomendados para poblaciones menores a 2000 habitantes (Silva, 2018).

En este tipo de tratamiento, el suelo actúa como medio receptor de aguas residuales y como agente activo en el proceso de depuración, eliminando principalmente nutrientes, materia orgánica, microorganismos y otros componentes orgánicos. El agua residual se evapora parcialmente y el resto es captado por las raíces de los árboles y filtrado a través del suelo (Santillán, 2018).

Las plantas, los microorganismos y el suelo se interrelacionan para llevar a cabo procesos de purificación, donde ocurren procesos físicos, como la filtración; químicos, como el intercambio iónico y biológicos, como la degradación de la materia orgánica que se encuentra en el agua (Santillán, 2018).

### ***2.2.12 Impacto de los Filtros Verdes en la Emisión de GEI***

En el tratamiento de aguas residuales con filtros verdes, los nutrientes son captados y retenidos por la planta para ser posteriormente expulsados a través de las hojas y raíces a la atmósfera. El bombeo orgánico a través de los nódulos de la raíz, tiene una alta capacidad de absorción de agua, realizará la descontaminación. Esta acción de absorción de agua disminuye la lixiviación de contaminantes a capas profundas del suelo (Delgado, 2017).



Se ha reportado que existe un acoplamiento exacto del transporte de gases al nivel bioquímico que es necesario, porque CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O pueden ser producidos o consumidos en el suelo en el eventual flujo a la atmósfera, depende de los sitios de reacción y las rutas de escape de estos gases (Bedoya, 2008).

### **2.2.13 Parámetros de Diseño**

Los parámetros de diseño van en función del caudal disponible y tipo de filtro verde que se vaya a utilizar. Las necesidades de agua de un cultivo varían a lo largo del período de crecimiento del cultivo y del tipo de cultivo que se plante, es muy importante que el riego se haga en surcos y que se realice un pretratamiento eficiente antes del riego (Sánchez, 2018).

### **2.2.14 Cálculo del Caudal**

Para determinar el caudal, se realiza mediante el método volumétrico, mismo que consiste en recolectar un volumen de muestra y medir el tiempo transcurrido entre el comienzo de la recolección y el retiro del recipiente desde el flujo. Para conocer la cantidad de agua residual generada por la empresa se calculará mediante la siguiente fórmula (Corantioquia, 2014).

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

*V*: Volumen de muestra.

*t*: Tiempo transcurrido entre el comienzo de la recolección y el retiro del recipiente desde el flujo.

### **2.2.15 Cálculo de la Carga Hidráulica de Diseño**

La carga hidráulica o dotación de riego es el volumen de agua residual aplicada por unidad de área de terreno en un determinado periodo de tiempo. Este parámetro es básico en el diseño y operación del sistema, se determinará de acuerdo con el requerimiento de agua del cultivo, en la capacidad de asimilación hidráulica y en la capacidad de asimilación de constituyentes del sistema suelo, planta (Universidad Veracruzana, 2015).

### **2.2.16 Carga Hidráulica Basada en la Permeabilidad del Suelo**

Para el cálculo se toma como base la ecuación del equilibrio hídrico en el suelo, que para un periodo mensual viene dado por la siguiente expresión:

$$Chpm = ETPm - Prm + Tim \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

*Chpm*: Carga hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo (mm/mes).

*ETPm*: Evapotranspiración potencial (mm/mes).

*Prm*: Precipitación mensual. Se determina a partir de los valores medidos durante un periodo de retorno de 10 años (mm/mes).

*Tim*: Tasa de infiltración mensual (mm/mes). Para el cálculo de *Tim* se procederá a determinar la permeabilidad más baja del terreno sobre el que se va a asentar el filtro verde. A partir de este dato se establece la tasa de infiltración de diseño, que no deberá exceder del 4-10% de la permeabilidad mínima.

$$Ti \text{ diaria} = \text{Permeabilidad} \left( \frac{mm}{h} \right) \times 24 \left( \frac{h}{d} \right) \times (0,04 \times 0,1) \quad \text{Ec. (3)}$$

La tasa de infiltración mensual se determina mediante la expresión:

$$Ti \text{ mensual} = Ti \text{ diaria} \times \text{número de días de riego al mes} \quad \text{Ec. (4)}$$

La carga hidráulica anual basada en la permeabilidad del terreno (*Chpa*, mm/año), se obtiene como suma de las cargas hidráulicas obtenidas para cada mes.

### 2.2.17 Cálculo de la Superficie Necesaria

Establecido el valor de la carga hidráulica de diseño (*Ch*), se procede a calcular la superficie necesaria de filtro verde mediante la expresión:

$$S = \frac{365 \times Q}{10 \times Ch} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

*S*: Superficie necesaria (ha).

*Q*: Caudal medio diario de aguas residuales a tratar ( $m^3/s$ ).

*Ch*: Carga hidráulica de diseño (mm/año).

### 2.2.18 Funcionamiento del Filtro Verde

El sistema consiste de una serie de canales sembrados con cultivos, siendo los más adecuados aquellos que presentan una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad, baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual y mínimas necesidades de control. De esta manera, las plantas absorben los contaminantes orgánicos presentes en el agua, dejándola limpia. Con este sistema se han obtenido porcentajes de remoción de hasta el 96% de la DBO<sub>5</sub>, 83% de la DQO y 99% de los Coliformes totales. Adicionalmente, el filtro remueve hasta el 63% del nitrógeno total disuelto en el agua y el 55% del fósforo, lo cual evita que las fuentes de agua receptoras se contaminen (Fundación Humedales, 2016).

### 2.2.19 Eucalyptus spp

Los eucaliptos se han utilizado ampliamente para la forestación presentando un alto valor ecológico para terrenos previamente carentes de árboles, a causa de su rápido crecimiento y de su tolerancia para desarrollarse sobre suelos muy pobres, en especial aquellos deficientes

en fósforo, además son árboles muy resistentes a la sequía por su capacidad de almacenar agua en las raíces (Durán, 2018).

#### ***2.2.20 Eficiencia del Eucalipto en la Remoción de Contaminantes***

Estudios previos han demostrado la eficiencia del monocultivo de eucalipto mostrando una reducción de materia orgánica en un 85 a 95%, así como la reducción de nitrógeno de 50 a 90% y de fosforo en un 40 a 80% (Durán, 2018).

#### ***2.2.21 Mantenimiento de los Filtros Verdes***

Para el mantenimiento las aguas que lleguen al filtro verde, deberán estar desprovistas de los elementos sólidos que pueda afectar el funcionamiento, basándose fundamentalmente en la limpieza y en el adecuado riego del cultivo que se esté utilizando como filtro verde (Paredes & Guzmán, 2021).

## CAPÍTULO III

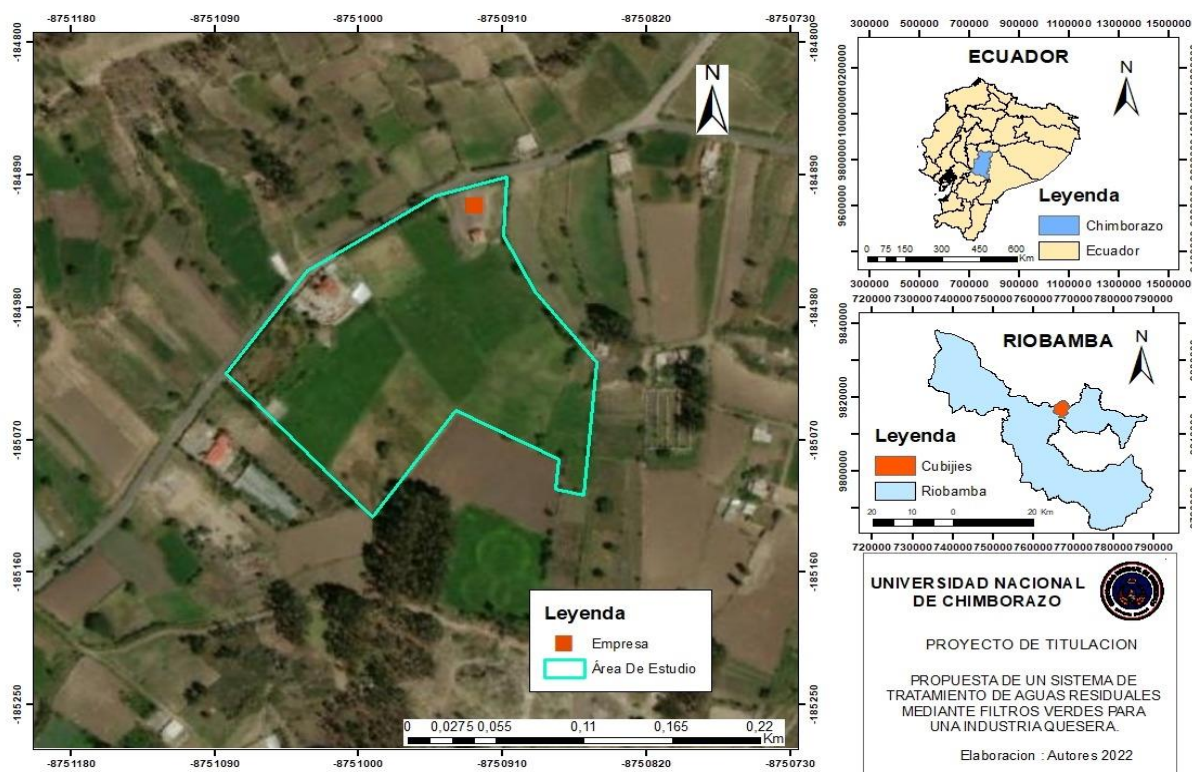
### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Selección y Reconocimiento del Área de Estudio

La empresa El Arriero B&C se encuentra ubicada en Ecuador en la Provincia de Chimborazo, en el Cantón Riobamba, Parroquia de Cubijíes, vía a Purlón, sector Cerro Negro, Valles del Sol. Cuenta con un área de 1500 m<sup>2</sup> de superficie total donde existe una zona de parqueo y espacios verdes para clientes y socios, además de espacio para el ganado de donde se obtiene la materia prima (Lema, 2021).

Los 100 m<sup>2</sup>, corresponden a la planta de producción de alimentos distribuidos en área de recepción de materias primas y productos, área de elaboración y producción, área administrativa, cuentan con gran emplazamiento y vías de fácil acceso (Lema, 2021).

En la Figura 1 se observa la ubicación geográfica de la Industria Quesera El Arriero B&C



**Figura 1.** Ubicación Geográfica El Arriero B&C

Fuente: Autores (2022)

#### 3.2 Análisis de las Aguas Residuales

##### 3.2.1 Muestreo

El muestreo que se utilizó fue de tipo compuesto por la variación del caudal y de la carga contaminante; para obtener la muestra compuesta se recolectó una medida de 500 mL

producto del proceso de elaboración de queso y en la limpieza de la planta de producción. Obteniéndose una muestra representativa para ser llevada al laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH.

El término “muestra compuesta” se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio (ITOXDEF, 2017).

### ***3.2.1.1 Protocolo de Muestreo***

Sandoval (2016), menciona que en la metodología para realizar un muestreo se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Utilizar frascos de vidrio con tapa, los mismos que deberán estar limpios.
2. Enjuagar el frasco por lo menos dos veces con la muestra.
3. Etiquetar los frascos incluyendo fecha y hora de muestreo.
4. Tomar en cuenta todas las normas de seguridad e higiene para transportar la muestra.
5. Colocar las muestras en contenedores para ser transportadas con mayor seguridad y facilidad.

El tiempo de recolección de la muestra hasta el inicio del análisis no excedió 48 horas, por lo que se enviaron las muestras de inmediato al laboratorio.

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis es esencial para asegurar la integridad de las muestras desde su recolección hasta el reporte de resultados, incluye la actividad de monitorear las condiciones de muestra, preservación, codificación, transporte y posterior análisis.

La calidad de los datos reportados por el laboratorio depende, principalmente, de la integridad de la muestra. Consecuentemente, se tomaron las precauciones necesarias para proteger la muestra de contaminación o deterioro.

### ***3.2.1.2 Muestras Analizadas***

Se realizó la toma de muestras para seis análisis. El primer muestreo trata del agua residual que genera la industria quesera y los posteriores cinco muestreos corresponden al efluente de la caja de salida (lisímetro) después del recorrido del agua por el filtro verde. El muestreo se efectuó de acuerdo a los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.

## **3.3 Caracterización Física, Química y Microbiológica de las Aguas Residuales**

Para el cumplimiento de los objetivos 1 y 3 se ejecuta el análisis de agua residual con la muestra compuesta obtenida, la cual se llevó al laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH para realizar la caracterización física, química y microbiológica y conocer los parámetros que se encuentran fuera de norma y el grado de contaminación del agua residual para posterior ser comparadas con las muestras del agua tratada, mismas que fueron

analizadas en el Laboratorio de Agua del GAD Municipal del cantón Colta. En la Tabla 1 se establecen todos los parámetros que serán analizados en el laboratorio con su respectivo método.

**Tabla 1.** Parámetros físicos, químicos y microbiológicos para monitoreo

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>
Sólidos Suspendidos	mg/L	STANDARD METHODS 2540 - D
DQO	mg/L	STANDARD METHODS 5220 - D
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	STANDARD METHODS 5210 - B
Nitratos	mg/L	STANDARD METHODS 4500 NO <sub>3</sub> - E
Fosfatos	mg/L	STANDARD METHODS 4500 P - E
Coliformes Totales	U.F.C/100 mL	STANDARD METHODS 9221 - C

**Fuente:** Autores (2022)

### **3.4 Fase de Laboratorio**

#### **3.4.1 Determinación de Sólidos Suspendidos**

Es un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105°C. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales (Monsalve, 2019).

#### **3.4.2 Determinación de Demanda Química de Oxígeno DQO**

Mediante Espectrofotometría se determinará DQO que es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La muestra obtenida se calienta dos horas con un agente oxidante potente, dicromato de potasio con el fin de reducir los iones presentes en el agua residual (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

#### **3.4.3 Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>**

La DBO<sub>5</sub> se realizará incubando una muestra sellada de agua residual para el período estándar de cinco días, el mismo que se realizará por Espectrofotometría en la cual determinaremos la demanda biológica de oxígeno presente en el agua residual. Este parámetro es un indicador importante en la eficiencia de filtro verde puesto que se conocerá el porcentaje de materia orgánica removida (Hach Company, 2000).

#### ***3.4.4 Determinación Nitratos***

Para su cuantificación se recurrirá al método espectrofotométrico, determinando la reducción de nitratos a nitritos, mediante una columna de cobre, los cuales reaccionan con sulfanilamida y N-1-naftiletildiamina para dar un compuesto azoico cuya absorbancia se mide a 540 nm (Cabrera & Hernández, 2013).

#### ***3.4.5 Determinación Fósforo***

Su determinación se realizará mediante método espectrofotométrico, con el objetivo de ser uno de los compuestos reducidos por los filtros verdes, debido a que se encuentra presente en las aguas residuales principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos.

#### ***3.4.6 Determinación de Coliformes Totales***

Una cantidad predeterminada de muestra es filtrada a través de un filtro membrana el cual retiene las bacterias encontradas en la muestra.

En el procedimiento de enriquecimiento de dos pasos, los filtros que contienen las bacterias son colocados en cartón absorbente saturado de caldo m-FC con ácido rosálico, e incubado invertido a  $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, las colonias azules son contadas bajo magnificación y reportadas en 100 mL de muestra; en algunos casos las colonias pueden ser de color rosa, debido a una insuficiente cantidad de medio de cultivo o una inadecuada dilución (Fernández, 2017).

### **3.5 Parámetros de Diseño**

#### ***3.5.1 Medición del Caudal***

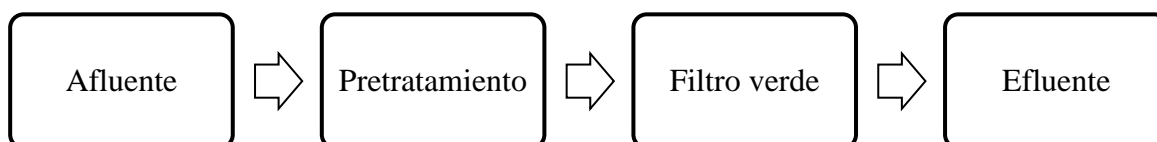
Para la medición del caudal se empleó el método volumétrico, el cual consiste en un recipiente colocado bajo la corriente de tal manera que reciba todo el flujo de agua y al mismo tiempo se activa el cronómetro. En este proceso el cronómetro inicia en el instante en que el recipiente se introduce a la corriente y se detiene en el momento en que se retira de ella. Es importante cronometrar varios tiempos de llenado, para estimar un valor promedio (Piragua, 2016).

#### ***3.5.2 Descripción del Área de Implantación del Filtro Verde***

Según Plan de Ordenamiento Territorial, (PDOT, 2019), el tipo de suelo es 70% cubierto de pastos naturales y un 30% de la zona se encuentra en un estado de erosión, esta zona tiene una permeabilidad de media a baja en sus suelos. La fuente hídrica es el río Chambo, su temperatura oscila entre los  $19^{\circ}\text{C}$  teniendo variantes que pueden ser menores a los  $5^{\circ}\text{C}$  o mayores a los  $26^{\circ}\text{C}$ ; por lo general presenta suelo arenoso y de muy bajas precipitaciones al año.

### 3.5.3 Sistema de Aplicación al Terreno

Se procederá a la revisión de los elementos integrantes para un correcto tratamiento del agua residual. En la Figura 2 se observan las fases del sistema de aplicación al terreno.



**Figura 2.** Fases del sistema de aplicación

**Fuente:** Autores (2022)

El agua residual procedente del afluente de la industria es conducida hacia la caja de revisión para su pretratamiento constituido por las rejillas de desbaste que tienen como objetivo remover y separar los sólidos gruesos, la cual se limpia diariamente para evitar obstrucciones, luego el agua circulará a través de una tubería con una longitud de 12 metros y un diámetro de 3 pulgadas hacia el filtro verde.

### 3.6 Selección del Cultivo

Se trabajará con el eucalipto (*Eucalyptus* spp.), debido a su sistema radicular y gran asimilación de los nutrientes. El eucalipto tiene la capacidad de secuestrar CO<sub>2</sub> de la atmósfera en la biomasa aérea, por medio de sus tallos, ramas y follaje, de igual manera en la biomasa subterránea, es decir en raíces y en el suelo, tienen gran potencial de secuestro de carbono debido a la capacidad de captura y utilización de recursos de crecimiento como la luz, nutrientes y agua (Silva, 2018). También, el eucalipto posee altas tasas de acumulación anual de biomasa, se adaptan a una amplia variedad de condiciones de suelo y clima, se propagan fácilmente y tienen una elevada capacidad de rebrote (Romagnoli, 2018).

La utilización del eucalipto como filtro verde sirve de refugio para animales autóctonos y es un lugar de nidificación de las aves, además absorbe el dióxido de carbono y lo transforma en oxígeno (CTAM, 2020).

### 3.7 Marco de Plantación

El marco de plantación empleado será de 25 m<sup>2</sup>, utilizando 5 árboles cuya edad es de 4 años de implantación, mismos que serán utilizados en la fase de experimentación para el desarrollo del proyecto.

### 3.8 Sistema de Alimentación

Los surcos serán regados con agua residual procedente de la descarga industrial, misma que percolará hacia una tubería de drenaje para su posterior recolección mediante un lisímetro, el cual permitirá obtener la recolección de la muestra del agua tratada con mayor facilidad.



### 3.9 Obtención de Muestras

Para vigilar la calidad de las aguas que se infiltran es necesario instalar un lisímetro, el cual consisten en un pozo excavado en el terreno, en los que se vierten drenes horizontales. Los drenes tienen pendientes positivas de 2% para favorecer el discurrir de las aguas drenadas para que al final de cada dren se pueda disponer un recipiente para la recogida, permitiendo el registro de las muestras (Bustamante, 2011).

### 3.10 Mantenimiento del Sistema

Tras la toma de muestras de las aguas lixiviadas en el correspondiente lisímetro, se procederá a la limpieza de los depósitos de recogida, dejándolos preparados para la recepción de nuevos lixiviados. Además, mensualmente se inspeccionarán el tronco, las ramas y las hojas de los árboles para detectar posibles plagas o enfermedades y tomar las medidas pertinentes (Tragsatec, 2013).

### 3.11 Toma de Muestras Para el Monitoreo de la Calidad de Agua

Se efectuó de acuerdo al cronograma presentado en la Tabla 2

**Tabla 2.** Cronograma de muestreo

	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Muestra 6</b>
<b>Fecha</b>	17/11/2021	06/01/2022	21/01/2022	07/02/2022	22/02/2022	09/03/2022
<b>Sitio</b>	Caja de Entrada	Caja de Salida	Caja de Salida	Caja de Salida	Caja de Salida	Caja de Salida

**Fuente:** Autores (2022)

Para la toma de la muestra del agua residual se recolectará en la caja de entrada (caja de revisión), previo al tratamiento del filtro verde. En cuanto a la toma de muestras del agua tratada se recolectará en la caja de salida (lisímetro), ubicada en la parte posterior del filtro verde.

### 3.12 Caracterización del Agua Tratada

Finalmente, el agua tratada mediante el proceso de filtros verdes fue llevada al Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH y al Laboratorio de Agua del GAD Colta, para realizar la caracterización física, química y microbiológica, con el fin de constatar la efectividad del tratamiento y que los parámetros que se encontraban fuera de norma estén dentro de los rangos establecidos en el TULSMA, libro VI, anexo I, tabla 12, descarga a un cuerpo de agua dulce.

### 3.13 Remoción de Contaminantes

La eficiencia del filtro será evaluada con porcentajes de remoción comparando las concentraciones de los resultados de muestreo tanto de entrada como de salida, mediante análisis estadístico, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: DQO, DBO<sub>5</sub>, Nitratos, Fosfatos y Sólidos Suspendidos (Díaz, 2018).

### 3.14 Uso del Agua Tratada

Las aguas luego de ser tratadas se infiltrarán al terreno como constituyente de nutrientes, mismos que serán aprovechados por la plantación de eucalipto, de esta manera el filtro verde será un aporte para la industria, principalmente en lo económico, ambiental y social.

### 3.15 Porcentajes de Remoción

Para determinar el porcentaje de remoción de los contaminantes en los parámetros analizados se aplicará la fórmula de disminución porcentual que es utilizada para calcular la reducción porcentual de un valor numérico a otro, expresada en la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \% \text{ DE REMOCIÓN} & & \text{Ec. (6)} \\ = & \frac{\text{VALOR AGUA RESIDUAL} - \text{VALOR AGUA TRATADA}}{\text{VALOR AGUA RESIDUAL}} * 100\% \end{aligned}$$

### 3.16 Análisis de la Varianza (ANOVA)

La prueba ANOVA o análisis de varianza es un método estadístico que permite descubrir si los resultados de una prueba son significativos, es decir, permiten determinar si es necesario rechazar la hipótesis nula o aceptar la hipótesis alternativa. El uso apropiado de ANOVA en el análisis de datos requiere que se cumplan algunos supuestos, incluyendo la distribución normal de la información, la independencia de los casos y la igualdad de varianza (PROQUESTION, 2018).

Se utiliza un nivel de significancia de 0,05 que indica un riesgo de 5% de concluir que existe una diferencia cuando no hay una diferencia real. Si el valor p es menor que o igual al nivel de significancia, usted rechaza la hipótesis nula y concluye que no todas las medias de población son iguales (MINITAB, 2017).

### 3.17 Manual de Operación y Mantenimiento

El manual de operación y mantenimiento, se elaborará mediante recopilación de información referente a los componentes del sistema a desarrollar, como las instrucciones correctas de funcionamiento, con el fin que se ejecute de forma eficiente y por consiguiente se alcance el objetivo de un sistema de tratamiento adecuado para tratar las aguas residuales, así como las acciones que contemplen para dar control y seguimiento al proyecto, para obtener los mejores resultados posibles. Además, incluye los equipos de protección personal sujetos al trabajador para que lo proteja de uno o más riesgos que puedan amenazar la seguridad o la salud.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales

Los resultados se presentan según los parámetros realizados de las muestras de aguas residuales mostrados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos del agua residual del efluente de la industria quesera

Parámetro	Muestra 1	Límites máximos de descarga a un cuerpo de agua dulce
Fecha	17/11/2021	
DQO (mg/L)	42350	250
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	26680	100
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	45	10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	277	10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	2370	100
Coliformes Totales (U.F.C/100mL)	<1	<1

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2021

La generación de aguas residuales produce una cantidad considerable de sustancias contaminantes derivadas del proceso industrial, caracterizándose a su vez por poseer gran parte de materia orgánica. El agua residual de la industria quesera genera contaminación por presencia de DBO, DQO, Sólidos suspendidos, Nitratos y Fosfatos con valores altos que se encuentran fuera del rango permisible que establece el TULSMA, libro VI, anexo I, tabla 12, descarga a un cuerpo de agua dulce (Luque, 2018).

#### 4.2 Parámetros de Diseño

##### 4.2.1 Cálculo del Caudal

Para el cálculo del caudal se aplicará la ecuación Ec. (1) obteniendo un caudal de 0,749 L/s equivalente a 2,69 m<sup>3</sup>/h.

$$Q = \frac{0,749 \text{ L}}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{2696,4 \text{ L}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = \frac{2,69 \text{ m}^3}{\text{h}}$$
$$Q = \frac{2,69 \text{ m}^3}{\text{h}}$$

#### 4.2.2 Cálculo de la Carga Hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo

Para la determinación de la carga hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo el valor de la Evapotranspiración (ETP) se obtuvo del estudio de la permeabilidad del suelo realizados por los investigadores (Vega & Jara, 2009) sobre la estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas del Ecuador. Según Vega & Jara (2009) mencionan que la Evapotranspiración potencial (ETP) de Riobamba presenta una sobrestimación bajo los 4,5 mm/día, tomando un valor mensual de 135 mm/mes.

$$ETPm = 135 \text{ mm/mes}$$

Según (Varela & Ron, 2020) la precipitación anual en la zona Sierra del Ecuador varía entre 800 y 1500 mm/año, tomando un valor medio de 1150 mm/año y un valor mensual de 96 mm/mes.

$$Prm = 96 \text{ mm/mes}$$

Para el cálculo de las tasas de infiltración (Tim) se emplea el valor obtenido en el estudio realizado sobre la tasa de infiltración de aguas en suelos agrícolas por el investigador (Sánchez, 2018), determinó el tiempo que tarda el suelo en inundarse totalmente de agua, la altura de infiltración en el tiempo y humedad retenida, este procedimiento se realizó para el suelo arenoso presentando una tasa de infiltración en el suelo de aproximadamente 20 mm/h.

Por ser suelo arenoso se tomará una tasa de infiltración de 20 mm/h y se aplicará en la ecuación Ec. (3).

$$Ti \text{ diaria} = \text{Permeabilidad} \left( \frac{mm}{h} \right) \times 24 \left( \frac{h}{d} \right) \times (0,04 \times 0,1)$$

$$Ti \text{ diaria} = 20 \left( \frac{mm}{h} \right) \times 24 \left( \frac{h}{d} \right) \times (0,04)$$

$$Ti \text{ diaria} = 19,2 \left( \frac{mm}{d} \right)$$

$$Ti \text{ mensual} = Ti \text{ diaria} \times \text{número de días de riego al mes}$$

$$Ti \text{ mensual} = 19,2 \left( \frac{mm}{d} \right) \times 15 \left( \frac{d}{mes} \right)$$

$$Ti \text{ mensual} = 288 \text{ mm/mes}$$

Después de conocer los valores de Evapotranspiración mensual (ETPm), Precipitación mensual (Prm) y la Tasa de infiltración mensual (Tim) se aplicará la ecuación Ec. (1).

$$Chpm = ETPm - Prm + Tim$$

$$Chpm = 135 \text{ mm/mes} - 96 \text{ mm/mes} + 288 \text{ mm/mes}$$

$$Chpm = 327 \text{ mm/mes}$$

$$Chpm = 3,92 \text{ m/h}$$

### 4.2.3 Cálculo de la Superficie

Determinado el valor de la carga hidráulica de diseño (Chpm), se procede a calcular la superficie necesaria de filtro verde mediante la ecuación Ec. (5).

$$S = \frac{365 \times Q}{10 \times Chpm}$$

$$S = \frac{365 \times 2,69 \text{ m}^3/h}{10 \times 3,92 \text{ m/h}}$$

$$S = 25 \text{ m}^2.$$

En la Figura 3 se muestra la aplicación del agua residual al terreno mediante tubería hacia los surcos para su infiltración y su posterior recolección en el lisímetro.



**Figura 3.** Superficie Experimental de los filtros verdes

**Fuente:** Autores (2022)

Para la planta experimental del filtro verde se empleará una parcela de 25 m<sup>2</sup> distribuidos de manera que los surcos atraviesen por los costados de la plantación lo más cercano posible a sus raíces; contará con un lisímetro para realizar los respectivos muestreos. Además, para mayor distribución del caudal se recomienda la implementación de llaves de paso que permitan controlar el paso del agua residual.

### 4.3 Caracterización Física Química y Microbiológica del Agua Tratada

En la Tabla 4 se muestra los resultados obtenidos de los muestreos correspondientes al agua tratada una vez transitados por el filtro verde.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos del agua tratada del efluente del filtro verde

Nº Muestras	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Fecha	06/01/2022	21/01/2022	07/02/2022	22/02/2022	09/03/2022
<b>DQO (mg/L)</b>	1002	876	383	191	75
<b>DBO<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L)</b>	520	428	117	68	42
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	2,9	2,5	1,9	1,4	1,0
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	3,48	3,23	2,75	2,50	2,03
<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	322	307	293	100	59
<b>Coliformes Totales (U.F.C/100mL)</b>	<1	<1	<1	<1	<1

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH - Laboratorio de Agua GAD Colta (2022)

La concentración más alta en relación a los demás parámetros es la DQO en las muestras analizadas de agua tratada después del filtro verde, cuanto mayor es la DQO mayor contaminada está el agua (LABOMERSA, 2020).

En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos tanto del agua residual como del agua tratada para su comparación con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 5.** Comparación de los resultados obtenidos del agua residual, agua tratada y los límites máximos permisibles

Parámetro	Unidad	Agua residual	Agua tratada	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
<b>DQO</b>	mg/L	42350	75	250
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mgO <sub>2</sub> /L	26680	42	100
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/L	45	1,0	10
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	mg/L	277	2,03	10
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/L	2370	59	100
<b>Coliformes Totales</b>	U.F.C/100mL	<1	<1	<1

*Nota.* Esta comparación está dada para la descarga a un cuerpo de agua dulce según la norma del TULSMA, libro VI, anexo I, tabla 12, descarga a un cuerpo de agua dulce. Autores (2022)

## 4.4 Análisis Estadístico Descriptivo del Muestreo

### 4.4.1 Análisis de Varianza Para los Datos Obtenidos a Partir de la Medición del Caudal

La medición del caudal se realizó para cada muestra en determinado tiempo, obteniendo los resultados que se describen en la Tabla 6. A partir de la cual se observa mayor caudal en la segunda muestra que fue de 0,921 L/s, mientras que el valor menor se obtuvo en la quinta muestra con un caudal de 0,685 L/s.

Disminuye en la quinta muestra debido a que el caudal producido en la industria es menor en el día en que se tomó la muestra en relación a las otras muestras (M1, M2, M3, M4); lo que significa que el uso del agua fue menor, debido a una baja demanda en su producción lo que implica el uso mínimo de agua para satisfacer las necesidades de limpieza (Romagnoli, 2018).

En la Tabla 6 se muestra la medición del caudal del agua residual tomada tres veces por día para determinar el caudal promedio durante una semana.

**Tabla 6.** Medición del caudal en función del tiempo

Muestra	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Promedio (L/s)	Caudal Total (L/s)
Primera	8	14,09	0,568	0,713	0,749
		12,5	0,640		
		8,58	0,932		
Segunda	8	5,98	1,338	0,921	
		8,46	0,946		
		16,64	0,481		
Tercera	8	11	0,727	0,714	
		11,27	0,710		
		11,34	0,705		
Cuarta	8	20,83	0,384	0,711	
		6,49	1,233		
		15,46	0,517		
Quinta	8	19,91	0,402	0,685	
		9,83	0,814		
		9,53	0,839		

Fuente: Autores (2022)

A partir del análisis estadístico ANOVA los valores obtenidos para caudal no existe diferencia significativa, ya que se obtuvo un valor-P mayor que 0,05, es decir, todas las medias de las muestras son iguales con un nivel de confianza del 95%, como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Análisis de varianza para caudal

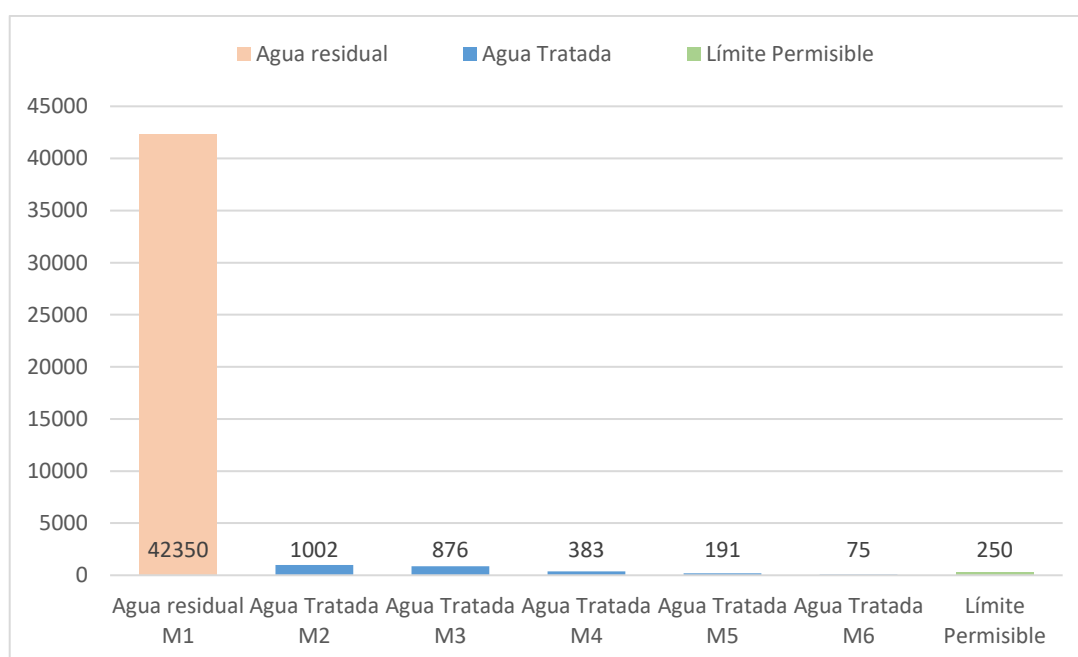
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Muestra	113477	4	28369,2	0,29	0,8783
Residuos	980188	10	98018,8		
<b>Total</b> (Correlación.)	1093,666	14			

Fuente: Autores (2022)

#### 4.4.2 Comprobación del Grado de Remoción de la Carga Contaminante y el Cumplimiento de los Parámetros de Calidad de Agua a Nivel Pre-Diseño

##### 4.4.2.1 Parámetro DQO

La DQO es una medida de la cantidad de materia oxidable presente en la muestra de agua tanto orgánica como inorgánica (MERK, 2010). Los resultados obtenidos en este parámetro se observan en la Figura 4.



**Figura 4.** Valores de DQO para cada muestra analizada

Fuente: Autores (2022)

Se observa la diferencia significativa entre las muestras; obteniéndose un valor mayor de DQO en la muestra M2 que fue de 1002 mg/L, mientras que en la muestra M6 el valor de DQO fue de 75 mg/L. Lo cual demuestra que fue factible la remoción de DQO utilizando filtros verdes, disminuyendo considerablemente la concentración de DQO en el agua tratada. La disminución de la DQO en los filtros verdes se debe a la sedimentación de los sólidos suspendidos, así como a los procesos de descomposición que ocurren en el agua y en las capas superiores del suelo. Resultados similares fueron obtenidos por (Aguilar, 2011), en su



trabajo con el título: “Evaluación del uso de filtros verdes en la reducción de contaminantes de aguas residuales” donde obtuvo un 92% de remoción de DQO luego de utilizar filtros verdes para el tratamiento de aguas residuales.

Según (Ramírez & Durán, 2008), con la determinación de la DQO se puede estimar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo a un seguimiento monitoreado en la línea de la calidad del agua residual en tratamiento fijando los valores iniciales y finales de la misma como es 42350 mg/L y 75 mg/L.

#### 4.4.2.2 Remoción de DQO

Para el cálculo de la remoción de la DQO se aplica la fórmula de la ecuación Ec. (6) con los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio a partir del agua residual con un valor de 42350 mg/L y para el agua tratada con un valor de 75 mg/L.

$$\% \text{ DE REMOCIÓN DQO} = \frac{DQO \text{ AGUA RESIDUAL} - DQO \text{ AGUA TRATADA}}{DQO \text{ AGUA RESIDUAL}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN DQO} = \frac{42350 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 75 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{42350 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN DQO} = 99,82\%$$

De acuerdo al análisis de laboratorio el valor de DQO presenta un 99,82% de remoción al disminuir su concentración de 42350 mg/L hasta 75 mg/L.

#### 4.4.2.3 Análisis estadístico DQO

En la Figura 4 muestra la diferencia significativa entre la muestra M1 que corresponde al agua residual respecto a las muestras de agua tratadas por el filtro verde. Se realizó un análisis estadístico ANOVA, para comprobar este hecho, a partir del cual se pudo observar que el valor-P es menor que 0,05, por lo tanto, las medias de las muestras no son iguales con un nivel de confianza del 95%, como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Análisis de Varianza DQO

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Muestras	1	1459142124	1459142124	8545,12	0,000
Error	4	683029	170757		
Total	5	1459825153			

**Fuente:** Autores (2022)

Teniendo un valor p <0,05 se realizó una prueba Tukey, en la cual observamos una diferencia significativa entre el agua residual y el agua tratada (ver Tabla 9).

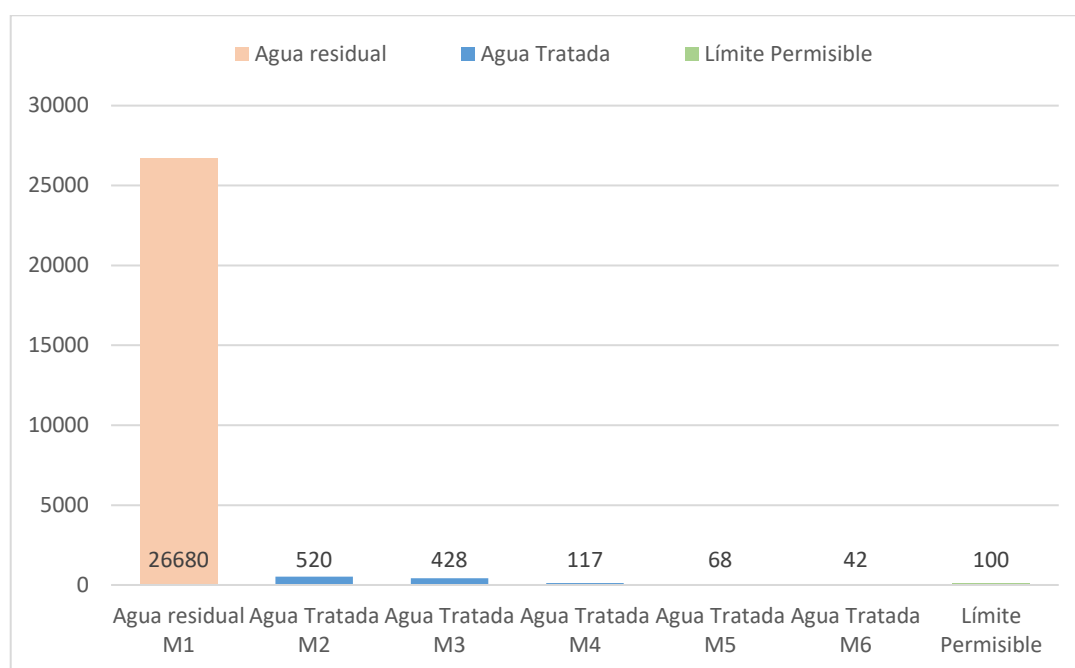
**Tabla 9.** Comparaciones en parejas de Tukey

Muestras	N	Media	Agrupación
1	1	42350	A
2	5	505	B

Fuente: Autores (2022)

#### 4.4.2.4 Parámetro DBO<sub>5</sub>

En la Figura 5 se muestran los valores de DBO<sub>5</sub> en mg/L tanto para el agua residual como para el agua tratada y los límites permisibles según la normativa.



**Figura 5.** Valores de DBO<sub>5</sub> para cada muestra analizada

Fuente: Autores (2022)

El valor mayor se obtuvo en la muestra M2 que fue de 520 mgO<sub>2</sub>/L, lo cual demuestra gran eficacia del filtro verde entre los cinco puntos del muestreo, denotando un valor menor de DBO<sub>5</sub> en la muestra M6 de 42 mgO<sub>2</sub>/L.

Esta disminución se debe a que la DBO<sub>5</sub> demuestra la oxidación bioquímica bacteriana que mineraliza la materia orgánica, y es producida por bacterias que se hallan en el suelo formando una tenue película, las raíces de los filtros verdes tienen la capacidad de atrapar nutrientes disminuyendo la DBO<sub>5</sub> mediante fitorremediación, llevándose a cabo dos procesos: la fotosíntesis y la respiración aerobia por bacterias en el suelo. A medida que el agua percola en el suelo del filtro verde las cantidades de O<sub>2</sub> se reduce generando condiciones anaerobias para que las bacterias heterótrofas anaeróbicas puedan degradar la materia orgánica (Silva, 2018).

La DBO es uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales, se evidencia la disminución en la tercera semana, ya que, a menor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, menor cantidad de oxígeno necesita los microorganismos para degradarla (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

#### 4.4.2.5 Remoción de la DBO<sub>5</sub>

Para el cálculo de la remoción de la DBO<sub>5</sub> se aplica la fórmula de la ecuación Ec. (6) con los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio a partir del agua residual con un valor de 26680 mg/L y para el agua tratada con un valor de 42 mg/L.

$$\begin{aligned} \% \text{ DE REMOCIÓN DBO}_5 &= \frac{\text{DBO}_5 \text{ AGUA RESIDUAL} - \text{DBO}_5 \text{ AGUA TRATADA}}{\text{DBO}_5 \text{ AGUA RESIDUAL}} * 100\% \\ \% \text{ DE REMOCIÓN DBO}_5 &= \frac{26680 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 42 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{26680 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} * 100\% \\ \% \text{ DE REMOCIÓN DBO}_5 &= 99,84\% \end{aligned}$$

De acuerdo al análisis de laboratorio el valor de DBO<sub>5</sub> presenta un 99,84% de remoción al disminuir su concentración de 26680 mg/L hasta 42 mg/L.

#### 4.4.2.6 Análisis estadístico DBO<sub>5</sub>

En la Figura 5 se observa la diferencia que existe entre la muestra M1 que corresponde al agua residual respecto a las muestras tratadas por el filtro verde, se realizó un análisis estadístico ANOVA, pudiendo observar que el valor-P es menor que el 0,05, es decir, las medias de las muestras no son iguales con un nivel de confianza del 95%, como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Análisis de Varianza DBO<sub>5</sub>

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Muestras	1	582781687	582781687	11801,02	0,000
Error	4	197536	49384		
Total	5	582979223			

**Fuente:** Autores (2022)

Teniendo un valor  $p < 0,05$  procedimos a realizar una prueba Tukey, en la cual observamos una diferencia significativa entre el agua residual y el agua tratada (ver Tabla 11).

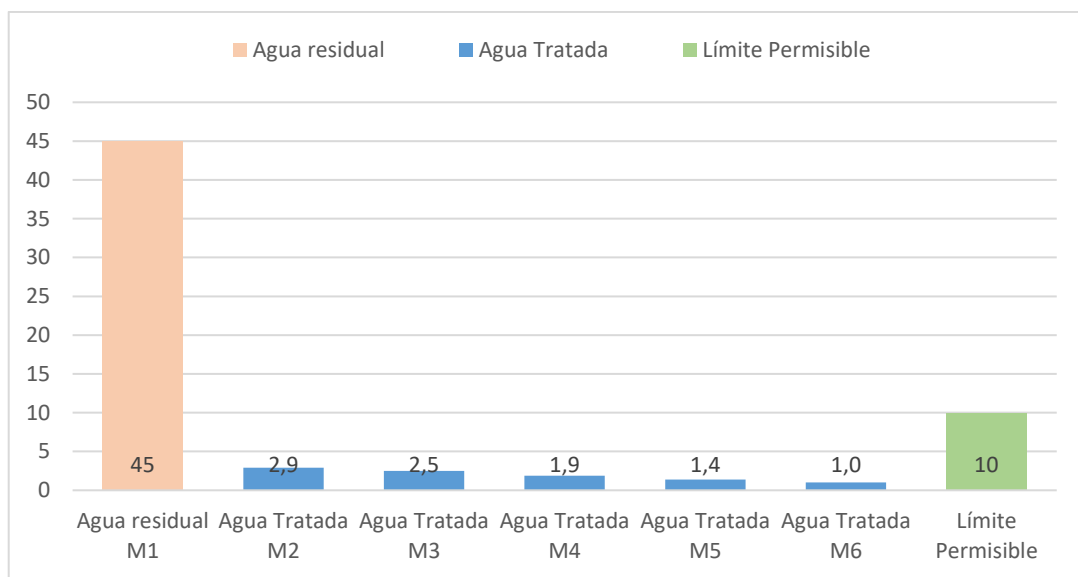
**Tabla 11.** Comparaciones en parejas de Tukey

Muestras	N	Media	Agrupación
1	1	26680	A
2	5	235,0	B

Fuente: Autores (2022)

#### 4.4.2.7 Parámetro $\text{NO}_3^-$

En la Figura 6 se muestra los valores de  $\text{NO}_3^-$  en mg/L tanto para el agua residual como para el agua tratada y los límites permisibles según la normativa.



**Figura 6.** Valores de  $\text{NO}_3^-$  para cada muestra analizada

Fuente: Autores (2022)

Luego de aplicar el filtro verde se realizó el análisis de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) presentes en aguas residuales, la cantidad inicial de  $\text{NO}_3^-$  se observa en el Figura 6, en la muestra M2 se obtuvo 2,9 mg/L de concentración, pero, a medida que se aplicó el filtro verde se observó disminución de la concentración. El valor mínimo obtenido fue en la muestra M6 con 1,0 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , gracias al uso del filtro verde. Según (Caballero, 2017), los filtros verdes pueden disminuir el contenido en nitratos del agua hasta un 70% mediante fitorremediación.

Los nitratos se reducen a nitrógeno gas mediante desnitrificación por bacterias heterótrofas en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico. En este caso, la desnitrificación en la zona de la raíz también puede contribuir a la disminución de la concentración de Nitrógeno en el sistema de filtros verdes. El  $\text{N}_2\text{O}$  y el  $\text{NO}$  se producen en el suelo principalmente en el curso de dos procesos microbianos: nitrificación (de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$  y de este a  $\text{NO}_3^-$ ) y desnitrificación (de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2\text{O}$  y finalmente a  $\text{N}_2$ ) (Silva, 2018).

(Larios, 2017), corrobora esta afirmación y además menciona que la concentración de nitratos disminuye de manera considerable al atravesar el filtro verde debido a las condiciones geoquímicas que presenta el área de implantación como se observa en la reducción de las muestras.

#### 4.4.2.8 Remoción de $\text{NO}_3^-$

Para el cálculo de la remoción del  $\text{NO}_3^-$  se aplica la fórmula de la ecuación Ec. (6) con los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio a partir del agua residual con un valor de 45 mg/L y para el agua tratada con un valor de 1,0 mg/L.

$$\% \text{ DE REMOCIÓN NITRATOS} = \frac{\text{NITRATOS AGUA RESIDUAL} - \text{NITRATOS AGUA TRATADA}}{\text{NITRATOS AGUA RESIDUAL}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN NITRATOS} = \frac{45 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 1,0 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{45 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN NITRATOS} = 97,77\%$$

De acuerdo al análisis de laboratorio el valor de  $\text{NO}_3^-$  presenta un 97,77% de remoción al disminuir su concentración de 45 mg/L hasta 1,0 mg/L.

#### 4.4.2.9 Análisis estadístico $\text{NO}_3^-$

En la Figura 6 se observa la gran diferencia entre la muestra M1 que corresponde al agua residual respecto a las muestras tratadas por el filtro verde, se realizó un análisis estadístico ANOVA, obteniéndose el valor-P menor que el 0,05; por lo tanto, las medias de las muestras no son iguales con un nivel de confianza del 95%, como se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Análisis de Varianza  $\text{NO}_3^-$

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestras	1	1545,14	1545,14	2562,42	0,000
Error	4	2,41	0,60		
Total	5	1547,55			

Fuente: Autores (2022)

Teniendo un valor  $p < 0,05$  procedimos a realizar una prueba Tukey, en la cual observamos una diferencia significativa entre el agua residual y el agua tratada (ver Tabla 13).

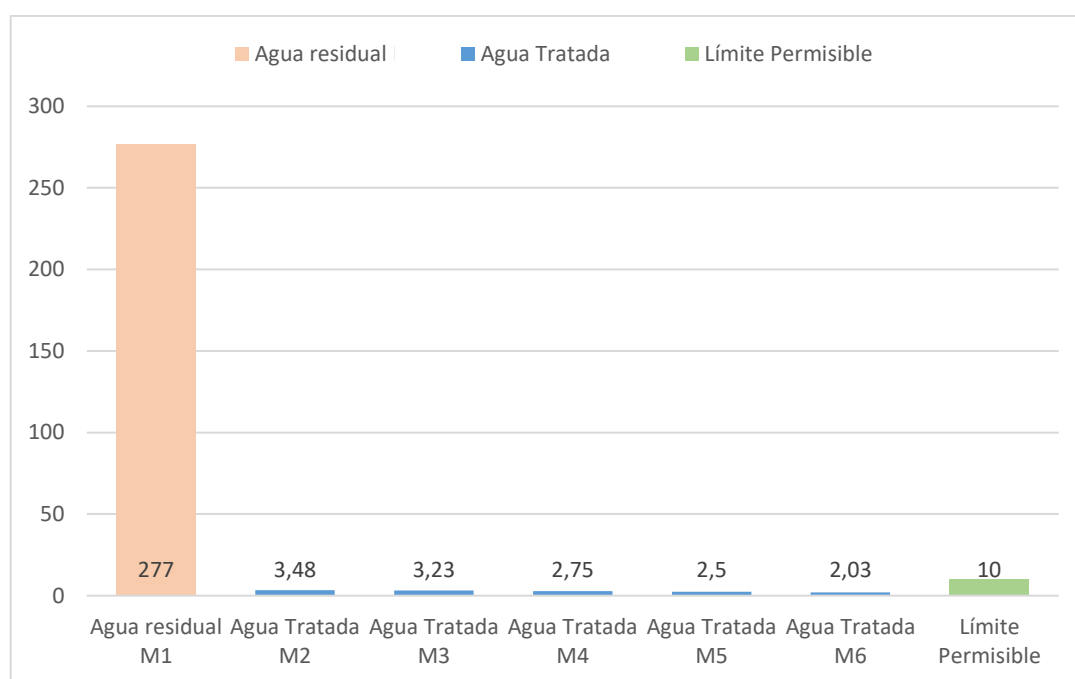
**Tabla 13.** Comparaciones en parejas de Tukey

Muestras	N	Media	Agrupación
1	1	45,00	A
2	5	1,940	B

Fuente: Autores (2022)

#### 4.4.2.10 Parámetro $PO_4^{3-}$

En la Figura 7 se muestra los valores de  $PO_4^{3-}$  en mg/L tanto para el agua residual como para el agua tratada y los límites permisibles según la normativa.



**Figura 7.** Valores de  $PO_4^{3-}$  para cada muestra analizada

Fuente: Autores (2022)

En la Figura 7 se observan los valores de  $PO_4^{3-}$  en mg/L, para cada muestra analizada del agua tratada, el valor mayor se obtuvo en la muestra M2 que fue de 3,48 mg/L y el valor menor se obtuvo en la muestra M6 que fue de 2,03 mg/L. Resultados similares se obtuvieron en un estudio realizado por (Caballero, 2017), donde la remoción fue del 85% utilizados filtros verdes.

La reducción de la carga de fosfatos se debe a la zona ribereña del área de estudio de acuerdo a resultados de (Maza, 2017). Además, se atribuye a la importancia de la actividad agrícola y la erosión de los suelos sobre la transferencia de fósforo en todas sus formas.

#### 4.4.2.11 Remoción de la $PO_4^{3-}$

Para el cálculo de la remoción del  $PO_4^{3-}$  se aplica la fórmula de la ecuación Ec. (6) con los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio a partir del agua residual con un valor de 277 mg/L y para el agua tratada con un valor de 2,03 mg/L.

$$\% \text{ DE REMOCIÓN FOSFATOS} = \frac{\text{FOSFATOS AGUA RESIDUAL} - \text{FOSFATOS AGUA TRATADA}}{\text{FOSFATOS AGUA RESIDUAL}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN FOSFATOS} = \frac{277 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \frac{2,03 \text{mg}}{\text{L}}}{\frac{277 \text{mg}}{\text{L}}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN FOSFATOS} = 99,26\%$$

De acuerdo al análisis de laboratorio el valor de  $PO_4^{3-}$  presenta un 99,26% de remoción al disminuir su concentración de 277 mg/L hasta 2,03 mg/L.

#### 4.4.2.12 Análisis estadístico $PO_4^{3-}$

En la Figura 7 se observa la diferencia entre la muestra M1 que corresponde al agua residual respecto a las muestras tratadas por el filtro verde, se realizó un análisis estadístico ANOVA, pudiendo observar que el valor-P es menor que el 0,05, es decir, las medias de las muestras no son iguales con un nivel de confianza del 95%, como se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Análisis de Varianza  $PO_4^{3-}$

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestras	1	62655,6	62655,6	188058,99	0,000
Error	4	1,3	0,3		
Total	5	62656,9			

Fuente: Autores (2022)

Teniendo un valor  $p < 0,05$  procedimos a realizar una prueba Tukey, en la cual observamos una diferencia significativa entre el agua residual y el agua tratada (ver Tabla 15).

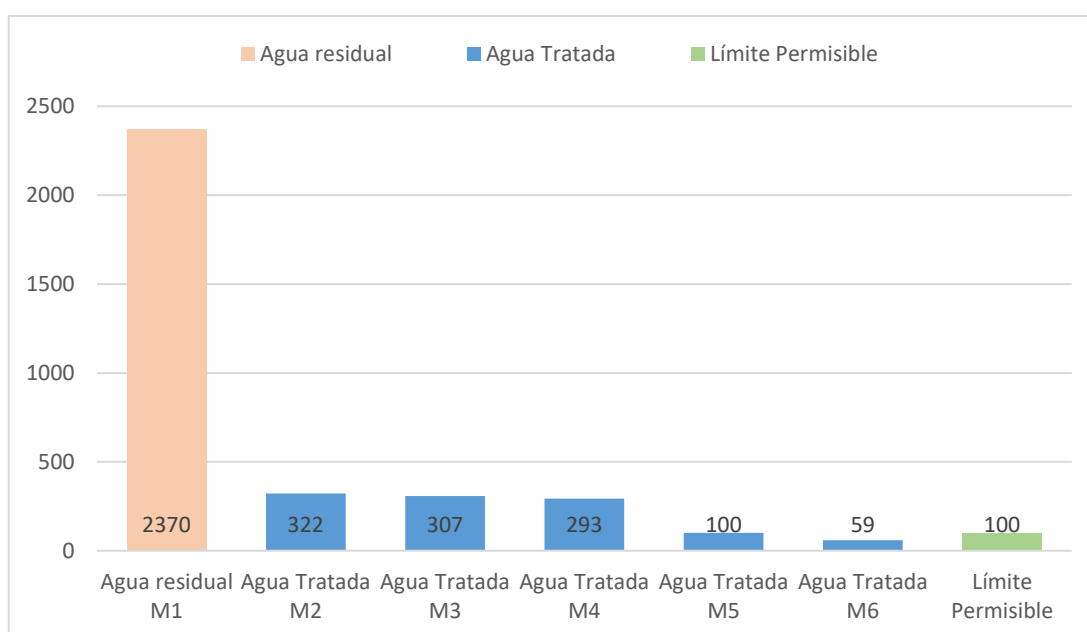
**Tabla 15.** Comparaciones en parejas de Tukey

Muestras	N	Media	Agrupación
1	1	277,0	A
2	5	2,798	B

Fuente: Autores (2022).

#### 4.4.2.13 Parámetro Sólidos Suspendidos

En la Figura 8 se muestra los valores de Sólidos Suspendidos en mg/L tanto para el agua residual como para el agua tratada y los límites permisibles según la normativa.



**Figura 8.** Valores de Sólidos Suspendidos para cada muestra analizada

Fuente: Autores (2022)

En la Figura 8 se muestra la cantidad de sólidos suspendidos antes y después de aplicar el filtro verde. La muestra M2 presenta una cantidad mayor de concentración con 322 mg/L de sólidos suspendidos; sin embargo en el transcurso del muestreo se denotó una progresiva disminución de la concentración obteniéndose una concentración final de 59 mg/L de sólidos suspendidos en la muestra M6 (Aguilar, 2011).

La capacidad de autodepuración de los filtros verdes respecto a los sólidos suspendidos se observa en la segunda muestra por su vegetación que no es alterada como lo indica (Castellanos, 2019) en estudios con resultados semejantes.

La disminución se debe a que el filtro verde facilita la gestión de sedimentos puesto que quedan retenidos en la superficie del terreno, así como en las proximidades de los puntos de alimentación, mineralización y reciclándose de manera natural (Aguirre, 2019).



#### 4.4.2.14 Remoción de Sólidos Suspendidos

Para el cálculo de la remoción de los Sólidos Suspendidos se aplica la fórmula de la ecuación Ec. (6) con los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio a partir del agua residual con un valor de 2370 mg/L y para el agua tratada con un valor de 59 mg/L.

$$\% \text{ DE REMOCIÓN SS} = \frac{SS \text{ AGUA RESIDUAL} - SS \text{ AGUA TRATADA}}{SS \text{ AGUA RESIDUAL}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS} = \frac{2370 \frac{mg}{L} - 59 \frac{mg}{L}}{2370 \frac{mg}{L}} * 100\%$$

$$\% \text{ DE REMOCIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS} = 97,51\%$$

De acuerdo al análisis de laboratorio el valor de Sólidos Suspendidos presenta un 97,51% de remoción al disminuir su concentración de 2370 mg/L hasta 59 mg/L.

#### 4.4.2.15 Análisis estadístico Sólidos Suspendidos

En la Figura 8 se observa la diferencia entre la muestra M1 que corresponde al agua residual respecto a las muestras tratadas por el filtro verde, se realizó un análisis estadístico ANOVA, pudiendo observar que el valor-P es menor que el 0,05, es decir, las medias de las muestras no son iguales con un nivel de confianza del 95%, como se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Análisis de Varianza Sólidos Suspendidos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestras	1	3865712	3865712	243,31	0,000
Error	4	63551	15888		
Total	5	3929263			

Fuente: Autores (2022)

Teniendo un valor  $p < 0,05$  procedimos a realizar una prueba Tukey, en la cual observamos una diferencia significativa entre el agua residual y el agua tratada (ver Tabla 17).

**Tabla 17.** Comparaciones en parejas de Tukey

Muestras	N	Media	Agrupación
1	1	2370	A
2	5	216,2	B

Fuente: Autores (2022)

#### 4.4.2.16 *Parámetro Coliformes Totales*

De acuerdo a los análisis realizados para Coliformes Totales que se muestran en la Tabla 18 presentan valores de <1 U.F.C/100mL, es por ello que no se realizó un análisis comparativo estadístico, debido a que no existe presencia significativa.

**Tabla 18.** Síntesis del análisis de los parámetros en función de las muestras

PARÁMETRO	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Límites permisibles TULSMA
DQO (mg/L)	42350	1002	876	383	191	75	250
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	26680	520	428	117	68	42	100
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	45	2,9	2,5	1,9	1,4	1	10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	277	3,48	3,23	2,75	2,5	2,03	10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	2370	322	307	293	100	59	100
Coliformes Totales U.F.C/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

**Autores:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH - Laboratorio de Agua GAD Colta (2022)

La Tabla 18 muestra los valores obtenidos para cada parámetro analizado en cada muestra con su respectiva fecha para realizar la comparación de cada parámetro analizado, observándose que los valores mínimos se presentan en el muestreo M6, cumpliendo con los valores permisivos para los parámetros analizados según el TULSMA libro VI, anexo I, tabla 12, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## CAPÍTULO V.

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó las características físicas, químicas y microbiológicas del agua contaminada de la empresa El Arriero B&C mediante ensayos de laboratorio; con lo cual se conoció el grado de contaminación del agua residual y los parámetros que se encontraron fuera de norma: DQO con un valor de 42350 mg/L, DBO<sub>5</sub> 26680 mg/L, Nitratos 45 mg/L, Fosfatos 277 mg/L y Sólidos suspendidos 2370 mg/L.
- Se establecieron los siguientes parámetros en la propuesta para el diseño del sistema de tratamiento: caudal, carga hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo, superficie necesaria; siendo un sistema compatible no convencional para tratar el agua residual industrial, con la vegetación a plantar eucalipto (*Eucalyptus* spp.) debido a su alta capacidad de depuración y asimilación de nutrientes.
- Se consiguió la remoción de la materia orgánica en un 99,84% del agua residual de la industria quesera debido a la implementación del sistema de tratamiento propuesto, mediante el uso de filtros verdes que es una alternativa sostenible y eficaz que no requiere de un control diario. Además, se estableció el cumplimiento de los parámetros Sólidos suspendidos, DQO, DBO<sub>5</sub>, Nitratos y Fosfatos de acuerdo al límite permisible del TULSMA, libro VI, anexo I, tabla 12, descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Se elaboró el Manual de Mantenimiento y Operación de filtros verdes para proporcionar apoyo en las diferentes actividades que se ejecutan de manera cotidiana en la industria quesera las cuales deben basarse en realizar correctamente sus actividades para el buen desempeño de la planta de tratamiento de agua residual.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a la empresa El Arriero B&C implementar el sistema de tratamiento de agua residual de filtro verde para de esta manera cumplir con la normativa ambiental y ajustar los parámetros que se encuentran fuera a los citados en el TULSMA, y evitar sanciones.
- Como medida de precaución colocar un sistema de mallas en la caja de retención a la salida del agua residual para que en caso de existir la presencia de residuos queden retenidos sobre la malla.
- Realizar el seguimiento al mantenimiento y operación que se planteó en el manual del documento.
- Ejecutar un control de calidad del agua residual de la industria quesera al menos una vez al año para conocer las condiciones de descarga.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. J. (2011). *Evaluación del uso de filtros verdes en la reducción de contaminación de aguas residuales*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/QB988.pdf>
- Aguirre, M. (2019). *Diseño de un Sistema de Filtros verdes*. Obtenido de [https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/41770/TFM\\_Aguirre\\_Rubiano\\_2019.pdf;jsessionid=7613BE6371BED45E252DC4](https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/41770/TFM_Aguirre_Rubiano_2019.pdf;jsessionid=7613BE6371BED45E252DC4)
- ARCA. (2016). Obtenido de [http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/reg\\_01.pdf](http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/reg_01.pdf)
- Bedoya, F. (2008). *Producción biológica de hidrogeno*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwixuYPksZ73AhXvQjABHQXTAq8QFnoECAsQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Fdyna%2Fv75n154%2Fa14v75n154.pdf&usg=AOvVaw249OsOzcGU37U7rWwM-9ka>
- Bohórquez, C. (2017). *Análisis del uso de biorreactores*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15221/1/TESIS%20MBR.pdf>
- Braatz, S., & Kandiah, A. (2016). *El riego forestal sostenible en zonas áridas y semiáridas*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/i2890s/i2890s10.pdf>
- Brito, L. A. (2018). *Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un sistema de filtros*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52100/1/T-110230.pdf>
- Bustamante, D. (2011). *Filtros verdes, un sistema para la depuración y reutilización de aguas residuales*. *Tecnoambiente*. Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/mecanismos-de-atenuacion-y-parametros-clave-para-m-lc0nC>
- Caballero, E. (2017). Eliminación de nutrientes mediante el uso de filtros verdes en el río Choluteca. *Universidad de Sevilla*, <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70960/fichero/MEMORIA+TFM+El+ena+Caballero+Moreno.pdf>.
- Cabrera, E., & Hernández, H. (Marzo de 2013). *Revista de la Sociedad Química de México*. Obtenido de Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar.
- Callejas, M., & Guzmán, P. (2018). *Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones*. Madrid: Renson. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>

- Carhuamaca, Z. (2013). *Estudio de la reducción de lactosa del lactosuero producido por las industrias lácteas utilizando mucílago nopal*. Obtenido de Tesis para obtener el título de Ingeniería en Industrias Alimentarias: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2668>
- Castellanos, J. (2019). *Diagnóstico de Calidad de Agua*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24275/1/Proyecto%20Grado%20-%20Jhoan%20Castellanos%20%26%20Yamid%20Monsalve.pdf>
- Corantioquia. (2014). *Medición del caudal*. Obtenido de [https://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual\\_Medici%C3%B3n\\_de\\_Caudal.pdf](https://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf)
- CTAM. (2020). *Filtros verdes un sistema modelo aplicado desde hace una década*. Obtenido de <http://www.ctam.com.ar/noticia/el-%E2%80%9Cfiltro-verde%E2%80%9D-un-sistema-modelo-aplicado-desde-hace-una-decada/>
- Delgadillo, O. (2018). *Depuración de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi2qPzP78n3AhUQm2oFHdJtCnkQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F48017573.pdf&usg=AOvVaw3bEX1k3X-xos5YUdYMFUjK>
- Delgado, C. (2017). *Impacto de los filtros verdes*. México: Pearson.
- Díaz. (2017). *El tratamiento de aguas residual domésticas para el desarrollo local sostenible*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Díaz. (2018). *Evaluación del filtro verde para tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15390/DiazRomeroDianaLucia2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Domínguez, R. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad*. Obtenido de 70 años de pensamiento de la CEPAL, Libros de la CEPAL: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf)
- Durán, X. (2018). Obtenido de El impacto de los bosques de eucaliptos en los recursos hídricos: <https://www.iagua.es/blogs/xavi-duran-ramirez/impacto-bosques-eucaliptos-recursos-hidricos>
- Escuela Organización Industrial. (2008). *Los vertidos del sector lácteo*. Sevilla.
- FAO. (2018). *Portal lácteo*. Organización de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/tipos-y-caracteristicas/es/>
- Fernández, M. (2017). *Determinación de Coliformes Totales y Fecales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251011.pdf>
- Fuentes, A. (2019). *Nanopartículas*. Obtenido de <https://solmeglas.com/nanoparticulas-medicina-cosmetica/>

- Fundación Humedales. (2016). *Filtros verdes*. Obtenido de Agua limpia para Colombia: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15390/DiazRomeroDianaLucia2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gandarillas, J. L. (2016). *Filtros verdes. Humedales. Macrofitas. Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización*. Obtenido de [https://static.eoi.es/savia/documents/filtros\\_verdes\\_humedales\\_y\\_macrofitas\\_magua\\_2016.pdf](https://static.eoi.es/savia/documents/filtros_verdes_humedales_y_macrofitas_magua_2016.pdf)
- García, M. (2018). *Aguas residuales*. Obtenido de [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Guerra. (2015). Prototipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria quesera en el cantón Guano, provincia de Chimborazo. *Novasinerгия*, 1(2), 25. Recuperado el 2022, de <https://novasinerгия.unach.edu.ec/index.php/novasinerгия/article/view/50>
- Guerra, L. (2018). *Metología para la reutilización de aguas lluvias y grises*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23395/1/Metodolog%C3%ADa-para-la-reutilizaci%C3%B3n-de-aguas-lluvias-y-grises-en-edificaciones.pdf>
- Hach Company. (2000). *Manual de análisis de agua*. Obtenido de Procedimientos fotométricos: <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>
- IMDEA. (2017). *¿Qué es un Filtro Verde?* Obtenido de [https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta\\_tecnologica\\_filtros\\_verdes.pdf](https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta_tecnologica_filtros_verdes.pdf)
- IMDEA, I. (2017). *Filtros Verdes para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de [https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta\\_tecnologica\\_filtros\\_verdes.pdf](https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta_tecnologica_filtros_verdes.pdf)
- INEC. (2019). *El sector lechero en el Ecuador*. Obtenido de <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/12/Sector-lechero-Ecuador.pdf>
- ITOXDEF. (2017). *Protocolo de Toma de Muestras*. Obtenido de [https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO\\_DE\\_TOMA\\_DE\\_MUESTRAS\\_DE\\_AGUA\\_RESIDUAL\\_ver\\_2.pdf](https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf)
- LABOMERSA. (2020). *DBO y DQO en Análisis de Aguas*. Obtenido de <https://labomersa.com/2021/09/14/por-que-es-importante-dqo-demanda-quimica-de-oxigeno-y-dbo-demanda-biologica-de-oxigeno-en-analisis-de-aguas/>
- Landaburu, J. (2017). *Regeneración de aguas mediante un nuevo concepto de filtros verdes*. Obtenido de <https://www.agua.imdea.org/noticias/2017/filver-regeneracion-de-aguas-mediante-nuevo-concepto-de-filtro-verde>

- Larios, L. (2017). *Contaminación del agua por Nitratos significación sanitaria*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552009000200017](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552009000200017)
- Latorre, J. D. (2018). *Lechería e Industria quesera en la República del Ecuador*. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/1162>
- Lema, J. (2021). *Implantación de un sistema de gestión ambiental en la empresa de lacteos "El Arriero B&C" Norma ISO 14001:2015*. Riobamba.
- Luque, A. (2018). *La Gestión de Residuos de las Industrias Lácteas caso Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gesti%C3%B3n%20Residuos%20Industria%20Lactea.pdf>
- Maza, J. (2017). *Cuantificación de la variable espacial y temporal de iones de fosfato en dos cuencas andinas del sur del Ecuador*. Obtenido de Reduccion de cargas de nitrato: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14968/1/UPS-CT007384.pdf>
- MERK. (2010). Manual fotómetro. *MERK, SQ18*.
- MINITAB. (2017). Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/>
- Monsalve, J. C. (2019). *Diagnóstico de Calidad de Agua para Evaluación del potencial de Autodepuración*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24275/1/Proyecto%20Grado%20-%20Jhoan%20Castellanos%20-%26%20Yamid%20Monsalve.pdf>
- ONUA. (2017). *Agua Residuales*. Obtenido de <https://www.fao.org/home/es>
- Orozco, C. P. (2011). *Contaminación ambiental una visión desde la Química*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1350/1/Aprovechamiento%20de%20las%20aguas%20residuales%20dom%20c3%a9sticas%20grises%20mediante%20un%20sistema%20de%20tratamiento%20para%20su%20utilizaci%20c3%b3n%20como%20agua%20de%20regad%20c3%ado%20de%20una>
- Palacios, P. (2017). *La gestión de recursos hidráulicos*. Obtenido de <https://stri.si.edu/sites/default/files/gestion-cuencas-hidrograficas-asegurar-servicios-ecosistemas-laderas-neotropico.pdf>
- Paredes, F., & Guzmán, O. (2021). *Sistemas de riego*. Obtenido de [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/sistemas\\_de\\_riego.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/sistemas_de_riego.asp)
- PDOT. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/Folletos-autoridades-cantoniales.pdf>



- Piragua. (2016). *Manual Medición de Caudal*. Obtenido de [https://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual\\_Medici%C3%B3n\\_de\\_Caudal.pdf](https://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf)
- Plus, C. (2020). *Diccionario de Alimentación*. Obtenido de <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/diccionario/leche.html>
- PROQUESTION. (2018). *Análisis de la Varianza*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/anova/>
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (03 de Abril de 2014). *Caracterización de las aguas residuales y la*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramírez, I., & Durán, M. (2008). *Demanda Química de Oxígeno de Muestras Acuosas*. Obtenido de Química Ambiental de los Residuos Peligrosos : [http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf)
- Rodriguez, Á. J. (2014). *Evaluación Técnica Ambiental y Financiera para la implementación de los Filtros Verdes Proyecto GAIA*. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001952.pdf>
- Romagnoli, S. (2018). Forestación con aguas residuales tratadas: Una alternativa para transformar un problema ambiental en un recurso valioso. *INTA*, 14-21. Recuperado el 15 de Mayo de 2022, de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fyd64\\_forestacion.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fyd64_forestacion.pdf)
- Sáenz, L. (2013). *Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la planta de lácteos Oasis*. Obtenido de <http://dSPACE.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3217/1/96T00221.pdf>
- Sánchez, A. (2018). *Métodos de Riego*. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjE9LqzsZ73AhVRTDABHczvAIoQFnoECC8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.juntadeandalucia.es%2Fexport%2Fdrupaljda%2F1337160940Riego\\_por\\_superficie\\_baja.pdf&usg=AOvVaw0dqjVEUr4weeW3](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjE9LqzsZ73AhVRTDABHczvAIoQFnoECC8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.juntadeandalucia.es%2Fexport%2Fdrupaljda%2F1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf&usg=AOvVaw0dqjVEUr4weeW3)
- Sandoval, E. (2016). *Protocolo para muestras de aguas residuales*. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi3qcajt573AhVVRjABHTjAD94QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.defensa.gob.es%2Fitoxdef%2FGalerias%2Fdocumentacion%2Fprotocolos%2Fficheros%2FPROTOCOLO\\_DE\\_TOMA\\_DE\\_MUESTRAS](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi3qcajt573AhVVRjABHTjAD94QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.defensa.gob.es%2Fitoxdef%2FGalerias%2Fdocumentacion%2Fprotocolos%2Fficheros%2FPROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS)
- Santillán, G. (2018). *Impacto de los filtros verdes*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/88235220/document7pdf/>
- Secretaría de Planificación República de Ecuador. (2021). *Creación de oportunidades*. Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025/>

- Silva, C. (2018). *Impacto de filtros verdes sobre la emisión de los gases de efecto invernadero* (Vol. 41). Ediciones INCA. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1932/193266197009/html/>
- Torres, R. (2019). *Tratamiento y reuso de aguas*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>
- Tragsatec. (2013). *Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural*. Obtenido de Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias. Ed. Agrícola Española S.A. (Madrid).
- UNESCO. (2022). *Abordar la escasez y la calidad del agua*. Obtenido de <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>
- Universidad Veracruzana. (2015). *Bioingeniería*. Obtenido de Filtros verdes: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/>
- Varela, A., & Ron, S. (23 de 11 de 2020). *Geografía y clima del Ecuador*. *BIOWEB*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>
- Vega, E., & Jara, J. (septiembre de 2009). *Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas*. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/eagri/a/hMRcCrDnV96RV6H8BtDvtyF/?lang=es>
- Verna, C. (2019). *Filtros verdes*. Perú.
- Weisner, T. (2018). *Emisiones de carbono*. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiq7IzR5Z33AhWXRdABHXvDB7MQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fnews.un.org%2Fes%2Fstory%2F2019%2F10%2F1464591&usq=AOvVaw3L7-hj2x7\\_CS0P16r9gWZE](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiq7IzR5Z33AhWXRdABHXvDB7MQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fnews.un.org%2Fes%2Fstory%2F2019%2F10%2F1464591&usq=AOvVaw3L7-hj2x7_CS0P16r9gWZE)
- Yapu, C. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas*. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18238/PG-2046.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXOS


### Anexo 1. Manual de mantenimiento y operación para los filtros verdes



# MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN PARA LOS FILTROS VERDES

RIOBAMBA – ECUADOR

2022

	INDUSTRIA QUESERA “EL ARRIERO B&C”	MMOFV-001
	MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN PARA LOS FILTROS VERDES.	<b>Fecha de elaboración:</b> 03/05/2022  <b>Fecha de aprobación:</b>
Versión 1		

## ÍNDICE

1. Alcance.....	61
2. Tiempo de Vida útil.....	61
3. Evaluación y Selección del Emplazamiento.....	61
4. Selección del Cultivo.....	61
5. Necesidades de Pretratamiento.....	61
6. Método de Distribución.....	61
7. Simbología.....	62
8. Inicio de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	62
9. Limpieza de la Rejilla.....	63
10. Remoción de Espumas y Natas.....	63
11. Rotación de la Parcela.....	63
12. Limpieza del Lisímetro.....	64
13. Control y Reutilización del Eucalipto.....	64
14. Control de Vectores.....	65
15. Inspección al Sistema de Filtros Verdes.....	65
16. Seguridad Industrial y Equipamiento de Uso General.....	65

### ***1. Alcance***

El Manual de Mantenimiento y Operación (M&O), comprende todos los procedimientos e instrucciones de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria quesera El Arriero B&C.

El presente Manual de O&M será adaptable como documento de referencia para la ejecución de cada actividad de control a través de sus registros de operación y mantenimiento.

### ***2. Tiempo de Vida Útil***

El tiempo de vida depende de las características que presenta el agua residual, así como el caudal que se requiera tratar y las condiciones climáticas de la zona donde se implante el filtro verde; para alargar el tiempo de vida útil se aplicará un correcto control y seguimiento del filtro verde apoyado en el manual de operación y mantenimiento.

### ***3. Evaluación y Selección del Emplazamiento***

Ésta es una de las características más importantes a tomar en cuenta. Los factores limitantes son la permeabilidad del suelo y la profundidad de las aguas subterráneas. Se puede decir que el suelo presenta condiciones óptimas para la implementación del filtro verde cuando: (Álvarez, 2002):

1. El pH está entre 5,5 y 8,4,
2. La permeabilidad está entre 5 y 50 mm/h,
3. Las aguas subterráneas se encuentran a profundidades entre 0,6 y 1,5 m,
4. Pendientes entre el 2 y 15% en terrenos cultivados, en terrenos no cultivados pueden ser superiores.

### ***4. Selección del Cultivo***

Los cultivos a utilizar son aquellos con mayor capacidad de absorción de nutrientes, alto consumo de agua, alta tolerancia a la humedad del suelo, menor sensibilidad a los componentes del agua residual y menor necesidad de control. Con estas características tenemos cultivos forrajeros perennes, turbas, algunos tipos de árboles o cultivos agrícolas.

### ***5. Necesidades de Pretratamiento***

El agua que llega hasta el filtro verdes debe contar con un tratamiento primario previo, que consiste en filtros, rejillas de desbaste, desarenadores y desengrasante que se encargan de separar los sólidos de mayor tamaño del agua, con el fin de evitar taponamientos en la tubería y preparar el agua para su tratamiento.

### ***6. Método de Distribución***

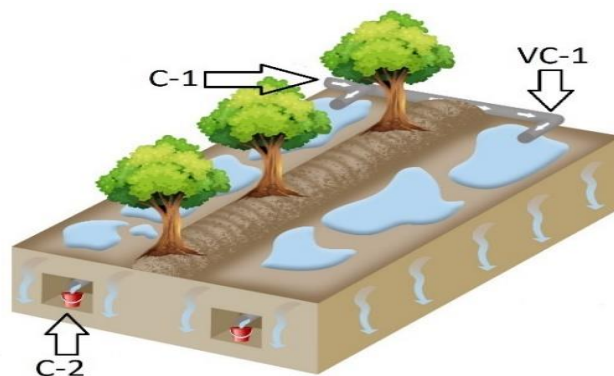
El método de distribución de aguas residuales se elige en las primeras etapas del diseño inicial, porque la eficiencia de la aplicación del sistema de distribución es un parámetro muy importante en los requisitos de agua de riego. Los posibles métodos de aplicación son:

- Aspersión
- Riego superficial
- Goteo
- Pulsos

El uso de cualquiera de los métodos de aplicación asegura que la planta reciba todas sus necesidades de agua para que se cumplan plenamente las condiciones para su uso y se mantenga la eficacia de la aplicación. El agua se regará periódicamente desde el lugar de mayor pendiente hacia el de menor pendiente, de forma que el agua penetre uniformemente a lo largo y en profundidad de los surcos.

## 7. Simbología

En la Figura 10 se observa la simbología con su respectiva información de sus componentes referente al filtro verde.



**Figura 9.** Simbología del filtro verde

Fuente: Autores (2022)

C-1: Caja de revisión ingreso al filtro verde

C-2: Caja de revisión salida del filtro verde

VC-1: Válvula de compuerta de ingreso

## 8. Inicio de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Se debe realizar los siguientes pasos:

1. Verificar que la rejilla no se encuentre saturada de material grueso, si fuera el caso realizar la limpieza de la rejilla.
2. Comprobar visualmente el estado de los surcos, es decir que no se encuentren saturados.
3. Abrir lentamente la válvula de ingreso VC-1 (válvula de alimentación).
4. Regular la válvula de ingreso VC-1, para un caudal de 0,749 L/s, esto dependerá del estado y la limpieza de la rejilla.
5. Identificar que no exista acumulación de lodos que puedan obstruir la tubería del by-pass.

## ***9. Limpieza de la Rejilla***

1. Cerrar lentamente la válvula de ingreso VC-1.
2. Utilizar los equipos de protección personal, y las herramientas necesarias para realizar esta actividad (rastrillo, balde y una pala cuadrada).
3. Utilizar el rastrillo y la pala cuadrada para desprender el material retenido en la rejilla, recoger en un balde y colocar para su disposición en fundas de basura.
4. Esta actividad se la debe realizar diariamente.
5. Registrar en un Formulario la ejecución de esta actividad en las fechas que se realizó, de igual manera cualquier novedad presentada.

## ***10. Remoción de Espumas y Natas***

Las espumas y natas son producidas principalmente por grasas, aceites, material ligero y burbujas de gas generadas en el proceso de descomposición. Es necesario realizar la remoción de espumas y natas, ya que el arrastre de sólidos suspendidos y grasas afectan a las siguientes unidades de proceso, principalmente limitan la capacidad de infiltración del suelo.

La capa de espumas y natas se removerá mensualmente, siguiendo la ejecución de estos pasos:

1. Utilizar los equipos de protección individual personal (EPP) y las herramientas.
2. Retirar la espuma y natas que estén flotando sobre el agua con un cernidero de malla fina de plástico o madera. El mismo debe estar provisto de un mango largo, su material de construcción debe ser liviano y debe tener una forma ergonómica para facilitar el trabajo de desalojo.
3. Arrojar la espuma sobre la carretilla y esperar que se llene completamente.
4. Transportar la carretilla cuidadosamente a su disposición final.
5. Registrar la ejecución de esta actividad en el formulario de control operativo.

## ***11. Rotación de la Parcela***

1. Periódicamente se procederá a cambiar las parcelas en riego, para lo que se cerrarán las correspondientes válvulas de alimentación de las parcelas anegadas y se abrirán las válvulas de alimentación nuevas parcelas, hasta ahora en fase de secado/reposo. La rotación periódica de las parcelas a las que se aplica el agua residual dentro del filtro es un aspecto de gran importancia, pues la duración de los períodos de encharcamiento debe controlarse para evitar la aparición de condiciones de anaerobiosis y de pérdida de capacidad de filtración.
2. Tras cesar la aplicación de agua a unas parcelas determinadas, éstas deben permanecer en reposo el tiempo suficiente para su re oxigenación.
3. Tras la toma de muestras de las aguas lixiviadas en los correspondientes lisímetros, se procederá a la limpieza de los depósitos de recogida, dejándolos preparados para la recepción de nuevos lixiviados.

4. Mensualmente se inspeccionarán el tronco, las ramas y las hojas de los árboles para detectar posibles plagas o enfermedades y poder tomar las medidas pertinentes.
5. Trimestralmente se le dará al filtro una labor de gradeo al objeto de romper las costras que hayan podido formarse, reairear el terreno y eliminar malezas. Esta labor no será muy profunda, para evitar dañar las raíces de los árboles.

### ***12. Limpieza del Lisímetro***

1. Si tras el pase de grada se observase que se han formado en el filtro canales preferenciales, se procederá, con el empleo de una azada, a su eliminación.
2. Los restos de vegetación que quedan próximos a los troncos de los árboles se eliminarán manualmente, con el auxilio de una hoz o de una guadaña.
3. La eliminación de la vegetación espontánea se podrá efectuar también mediante el empleo de guadañas o de desbrozadoras mecánicas.
4. Anualmente, durante los primeros años de la plantación, se someterá a los árboles a una labor de poda antes de la brotación primaveral, con el fin de conseguir que presenten un fuste lo más recto posible.
5. Anualmente, para el control del crecimiento de la biomasa vegetal, se procederá a la medición de la altura de los árboles y a la determinación de su diámetro.

### ***13. Control y Reutilización del Eucalipto***

Para el control de los niveles de tratamiento que se alcanzan en el Filtro Verde se han instalado lisímetros que acogen a eucaliptos. Cada uno de esos lisímetros, mediante drenes, captan efluentes depurados.

1. Reutilización de las aguas depuradas en riego. - las aguas depuradas percolan a través del terreno, por lo que no es posible su reutilización directa.
2. Empleo de los lodos en exceso. - en la Tecnología del Filtro Verde no se generan lodos en el proceso depurador.
3. Empleo de la biomasa vegetal. - la madera de los eucaliptos se dedica principalmente a la elaboración de muebles y como combustible.

Cuando termina el ciclo de vida de las especies utilizadas (*Eucalyptus globulus*) se pueden convertir en un compost que contribuye al incremento de materia orgánica de los suelos agrícolas, y por tanto a la mejora de su fertilidad, estructura y retención hídrica, previniendo así su erosión y degradación.

Su madera, con una densidad de  $720\text{Kg}/\text{m}^3$ , presenta cualidades técnicas que la hacen muy apreciada en la industria de la celulosa (se caracteriza por su fibra corta empleándose en la fabricación de papeles finos de escritorio), y como madera propiamente dicha. Este árbol además de maderero también es medicinal, dado que sus hojas contienen aceites, que una vez destilados, se emplean en farmacia.



#### ***14. Control de Vectores***

1. Con el fin de evitar la proliferación de vectores, se recomienda ejecutar trimestralmente jornadas de desbroce de la maleza, limpieza de las áreas verdes y mantenimiento de las unidades de filtro verde.
2. Se puede tomar en cuenta una campaña de fumigación anual, esta puede realizarse a inicios de cada año con el fin de atacar insectos y roedores.
3. Se recomienda revisar semestralmente las cajas de distribución del efluente de la unidad de filtro verde para observar que no exista acumulación de agua residual esta es una señal que el sistema está funcionando correctamente caso contrario si se observa la presencia de bolas; terrones de biopelícula se debe analizar la limpieza del área.

#### ***15. Inspección al Sistema de Filtros Verdes***

En cada visita efectuada, y para dejar constancia de la misma y de cuanta incidencia se considere reseñable, el operador de la estación depuradora dispondrá de un cuadernillo en el que anotará:

1. Fecha y hora de la visita a la estación depuradora.
2. Caudal tratado de aguas residuales.
3. Número e identificación de las sub parcelas del filtro verde puestas en operación.
4. Aspecto de los árboles y del efluente depurado.
5. Fechas de realización de las diferentes tareas de mantenimiento: limpieza de rejillas, pase de grada, poda, siega, etc.
6. Tiempos de funcionamiento de los sistemas de limpieza de las rejillas.
7. En el apartado de observaciones se registrarán cuantas incidencias se estimen oportunas sobre: características visuales y olfativas de las aguas residuales, duración de los períodos de lluvia intensa, aparición de plagas, etc.

#### ***16. Seguridad Industrial y Equipamiento de Uso General***

Es de vital importancia que las personas encargadas del mantenimiento cuenten con los equipos de protección personal (EPP) para prevenir, minimizar y evitar que ocurran accidentes que puedan comprometer la salud física de los trabajadores.

El operador y personal de mantenimiento deben contar con el uniforme y el equipo de seguridad completo para el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento. Los equipos de seguridad se detallan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Equipos de Seguridad

<b>Casco de seguridad</b>	
<b>Mascarilla con filtros para vapores orgánicos</b>	
<b>Gafas de seguridad</b>	
<b>Overoles desechables</b>	
<b>Guantes de látex</b>	
<b>Botas de caucho</b>	
<b>Traje pescador</b>	

**Fuente:** Diseño de un Manual de Procedimientos para el Departamento de Logística Circolo

## Anexo 2. Diseño del filtro verde

### Ubicación y diseño del filtro verde



Quesera B&C El Arriero



Lugar a implantar el filtro verde



Limpieza del terreno



Preparación del terreno

## Diseño del filtro verde



Construcción de los surcos y el lisímetro



Instalación de tuberías de drenaje



Limpieza final del filtro verde

## Cálculo de caudales



Distribución del agua residual hacia el filtro verde



Tubería que conduce el agua residual



Riego del agua residual en los surcos

## Obtención de muestras



Mustreo de agua residual



Agua residual de la empresa



Lisímetro para la recolección de las muestras



Agua tratada luego del paso por el filtro verde

Anexo 3. Tabla 12, Libro VI, Anexo I Del TULSMA

Tabla 12, Libro VI, Anexo I Del TULSMA, Descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</b>	<b>D.B.O<sub>5</sub>.</b>	<b>mg/l</b>	<b>100</b>
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	<b>D.Q.O.</b>	<b>mg/l</b>	<b>250</b>
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0

<b>Fósforo Total</b>	<b>P</b>	<b>mg/l</b>	<b>10</b>
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
Totales de Petróleo			
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
<b>Nitratos + Nitritos</b>	<b>Expresado como Nitrógeno (N)</b>	<b>mg/l</b>	<b>10,0</b>
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos		ml/l	1,0
Sedimentables			
<b>Sólidos</b>		<b>mg/l</b>	<b>100</b>
<b>Suspendidos</b>			
Totales			
Sólidos totales		mg/l	1 600

**Fuente:** Tabla 12, Libro VI, Anexo I del TULSMA, descarga a un cuerpo de agua dulce.



## Anexo 4. Informes de análisis de Laboratorio

### Análisis del agua residual (Muestra 1)



#### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012

N° SE: 091-21

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo **INFORME N°:** 091 – 21  
Bolivar Mervin Orozco Guanoluisa **N° SE:** 091 – 21

**EMPRESA:** Proyecto de Tesis UNACH

**DIRECCIÓN:** José Mancero

**TELÉFONO:** 0996374353 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 17 – 11 – 21  
**FECHA DE INFORME:** 23 – 11 – 21

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual, Industria láctea "El Arriero" **TIPO DE MUESTRA:**

**IDENTIFICACIÓN:** MA – 130 -21 Agua residual industria láctea Agua residual

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 130-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	42350	N/A	17- 11- 21
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	26680	N/A	17- 11- 21
* Nitrato - N	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NO3 - E	45	N/A	17- 11- 21
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 P - E	277	N/A	17- 11- 21
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	2370	N/A	17- 11- 21
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	< 1 (Ausencia)	N/A	17- 11- 21

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

**REGLA DE DECISIÓN ACORDADA:** No aplica

#### RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.  
-LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

## Análisis del agua tratada (Muestra 2)



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012

Nº SE: 001-22

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo **INFORME Nº:** 001 – 22  
Bolívar Mervin Orozco Guanoluisa **Nº SE:** 001 – 22

**EMPRESA:** Proyecto de Tesis UNACH

**DIRECCIÓN:** José Mancero **FECHA DE RECEPCIÓN:** 06 – 01 – 22

**TELÉFONO:** 0996374353 **FECHA DE INFORME:** 12 – 01 – 22

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual, Industria láctea "El Arriero" **TIPO DE MUESTRA:**

**IDENTIFICACIÓN:** MA – 001 -22 Industria láctea filtro verde Agua residual

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 001-22

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	1002	N/A	06-01-22
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	520	N/A	06-01-22
* Nitrato - N	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NO3 - E	2,9	N/A	06-01-22
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 P - E	3,48	N/A	06-01-22
* Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	322	N/A	06-01-22
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	< 1 (Ausencia)	N/A	06-01-22

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

**REGLA DE DECISIÓN ACORDADA:** No aplica

#### RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.



Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.  
-LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados

## Análisis del agua tratada (Muestra 3)



Gobierno Autónomo Descentralizado  
Municipal del Cantón Colta

### INFORME DE ANÁLISIS

<b>1) DATOS DE LA INSTITUCIÓN:</b>			
<b>Institución:</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta		
<b>Departamento:</b>	Laboratorio de Agua		
<b>2) DATOS DE LA MUESTRA:</b>			
<b>Empresa:</b>	Proyecto de Tesis UNACH	<b>Cantón:</b>	Riobamba
<b>Nombre:</b>	Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo Bolivar Mervin Orozco Guanoluisa	<b>Muestra N°:</b>	001-AR-Ext.
<b>Identificación:</b>	Agua residual Industria Láctea "El Arriero"	<b>Tipo:</b>	Agua residual industrial
<b>Sitio de toma de muestra:</b>	Salida Filtro Verde		
<b>Fecha de recepción:</b>	2022-01-21		
<b>Fecha de análisis:</b>	2022-01-21		
<b>Fecha de informe:</b>	2022-01-28		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>METODO</b>	<b>RESULTADOS</b>
* $DBO_5$	mg $O_2$ /L	Standard Methods 5210-B	428
* $DQO$	mg/L	Standard Methods 5220-D	876
*Nitratos ( $NO_3^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-NO $3$ E	2.5
*Fosfatos, ( $PO_4^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-P-E	3.23
*Sólidos Suspendidos	mg/L	Standard Methods 2540-D	307
*Coliformes Totales	U.F.C/100 ml	Standard Methods 9221-E	<1

El laboratorio sólo se responsabiliza del análisis, no de la obtención de la muestra.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.  
El laboratorio libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

#### RESPONSABLE:



Firmado electrónicamente por:  
ANA LORENA  
SILVA  
ANDRADE

Ing. Lorena Silva  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE AGUA  
GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA

Dirección: Edificio Central, frente a la Plaza Cultural "Juan de Velasco", entre Gorivar y 2 de Agosto  
Teléfono: (03) 3700890 www.municipiodecolta.gob.ec gadcolta@municipiodecolta.gob.ec

## Análisis del agua tratada (Muestra 4)



Gobierno Autónomo Descentralizado  
Municipal del Cantón Colta

### INFORME DE ANÁLISIS

1) DATOS DE LA INSTITUCIÓN:			
Institución:	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta		
Departamento:	Laboratorio de Agua		
2) DATOS DE LA MUESTRA:			
Empresa:	Proyecto de Tesis UNACH	Cantón:	Riobamba
Nombre:	Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo Bolívar Mervin Orozco Guanoluisa	Muestra N°:	002-AR-Ext.
Identificación:	Agua residual Industria Láctea "El Arriero"	Tipo:	Agua residual industrial
Sitio de toma de muestra:	Salida Filtro Verde		
Fecha de recepción:	2022-02-07		
Fecha de análisis:	2022-02-07		
Fecha de informe:	2022-02-14		
PARÁMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADOS
* $DBO_5$	mg $O_2$ /L	Standard Methods 5210-B	117
*DQO	mg/L	Standard Methods 5220-D	383
*Nitratos ( $NO_3^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-NO3E	1.9
*Fosfatos, ( $PO_4^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-P-E	2.75
*Sólidos Suspendidos	mg/L	Standard Methods 2540-D	293
*Coliformes Totales	U.F.C./100 ml	Standard Methods 9221-E	<1

El laboratorio sólo se responsabiliza del análisis, no de la obtención de la muestra.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.  
El laboratorio libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

#### RESPONSABLE:



Firmado electrónicamente por:  
ANA LORENA  
SILVA  
ANDRADE

Ing. Lorena Silva  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE AGUA  
GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA

Dirección: Edificio Central, frente a la Plaza Cultural "Juan de Velasco", entre Gorivar y 2 de Agosto  
Teléfono: (03) 3700890    www.municipiodecolta.gob.ec    gadcolta@municipiodecolta.gob.ec

## Análisis del agua tratada (Muestra 5)



Gobierno Autónomo Descentralizado  
Municipal del Cantón Colta

### INFORME DE ANÁLISIS

1) DATOS DE LA INSTITUCIÓN:			
Institución:	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta		
Departamento:	Laboratorio de Agua		
2) DATOS DE LA MUESTRA:			
Empresa:	Proyecto de Tesis UNACH	Cantón:	Riobamba
Nombre:	Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo Bolívar Mervin Orozco Guanolusa	Muestra N°:	003-AR-Ext.
Identificación:	Agua residual Industria Láctea "El Arriero"	Tipo:	Agua residual industrial
Sitio de toma de muestra:	Salida Filtro Verde		
Fecha de recepción:	2022-02-22		
Fecha de análisis:	2022-02-22		
Fecha de informe:	2022-03-02		
PARÁMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADOS
* $DBO_5$	mg $O_2$ /L	Standard Methods 5210-B	68
*DQO	mg/L	Standard Methods 5220-D	191
*Nitratos ( $NO_3^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500- NO <sub>3</sub> E	1.4
*Fosfatos, ( $PO_4^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-P-E	2.50
*Sólidos Suspendedos	mg/L	Standard Methods 2540-D	100
*Coliformes Totales	U.F.C/100 ml	Standard Methods 9221-E	<1

El laboratorio sólo se responsabiliza del análisis, no de la obtención de la muestra.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.  
El laboratorio libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

RESPONSABLE:



Firmado electrónicamente por:  
ANA LORENA  
SILVA  
AMORADE

Ing. Lorena Silva  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE AGUA  
GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA

## Análisis del agua tratada (Muestra 6)



Gobierno Autónomo Descentralizado  
Municipal del Cantón Colta

### INFORME DE ANÁLISIS

1) DATOS DE LA INSTITUCIÓN:			
Institución:	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta		
Departamento:	Laboratorio de Agua		
2) DATOS DE LA MUESTRA:			
Empresa:	Proyecto de Tesis UNACH	Cantón:	Riobamba
Nombre:	Wilson Esteban Castañeda Cuzquillo Bolivar Mervin Orozco Guanoluisa	Muestra Nº:	004-AR-Ext.
Identificación:	Agua residual Industria Láctea "El Arriero"	Tipo:	Agua residual industrial
Sitio de toma de muestra:	Salida Filtro Verde		
Fecha de recepción:	2022-03-09		
Fecha de análisis:	2022-03-09		
Fecha de informe:	2022-03-16		
PARÁMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADOS
* $DBO_5$	mg $O_2$ /L	Standard Methods 5210-B	42
*DQO	mg/L	Standard Methods 5220-D	75
*Nitratos ( $NO_3^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-NO3E	1.0
*Fosfatos, ( $PO_4^-$ )	mg/L	Standard Methods 4500-P-E	2.03
*Sólidos Suspendidos	mg/L	Standard Methods 2540-D	59
*Coliformes Totales	U.F.C/100 ml	Standard Methods 9221-E	<1

El laboratorio sólo se responsabiliza del análisis, no de la obtención de la muestra.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.  
El laboratorio libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

#### RESPONSABLE:



Firmado electrónicamente por:  
ANA LORENA  
SILVA  
ANDRADE

Ing. Lorena Silva  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE AGUA  
GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA

Dirección: Edificio Central, frente a la Plaza Cultural "Juan de Velasco", entre Gorivar y 2 de Agosto  
Teléfono: (03) 3700890 www.municipiodecolta.gob.ec gadcolta@municipiodecolta.gob.ec