



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL PARA LA CORPORACIÓN DE PRODUCTORES Y
COMERCIALIZADORES ORGÁNICOS BIO TAITA
CHIMBORAZO – COPROBICH”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: LIVANEZA CONCEPCIÓN BAYAS HUILCA

DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA

Riobamba - Ecuador

2020

© 2020, Livaneza Concepción Bayas Huilca.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Livaneza Concepción Bayas Huilca, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de febrero de 2020



Livaneza Concepción Bayas Huilca

020201296-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA CORPORACIÓN DE PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES ORGÁNICOS BIO TAITA CHIMBORAZO – COPROBICH”**, realizado por la señorita: **LIVANEZA CONCEPCIÓN BAYAS HUILCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Bolívar Edmundo Flores Humanante PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2020-02-14
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, M. Sc DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2020-02-14
Ing. Hugo Segundo Calderón, M. Sc MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2020-02-14

DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios, por haberme permitido vivir una de las mejores experiencias en la prestigiosa carrera de ingeniería química que me hicieron, sin duda alguna, crecer tanto profesional como personalmente.

A mi mamá Maryuri Huilca y a mi papá Galo Bayas porque son mi razón de ser y mi principal motivación para cumplir todas mis metas propuestas.

A mis hermanas Liseth Bayas y Candy Bayas, quienes confiaron en mí y me apoyaron en todo momento a lo largo de mi carrera.

A mis sobrinos Marcelo, Aitana y Martín por llenarme de energía y motivarme a seguir adelante para ofrecerles un futuro mejor.

A mis amigos y demás familiares que siempre estuvieron alentándome de una u otra manera para alcanzar el que será, mi primer título de tercer nivel.

Livaneza

AGRADECIMIENTO

A Dios, por dotarme de las aptitudes y actitudes necesarias para lograr culminar con mi carrera y mi trabajo de titulación sin inconveniente alguno.

A mis padres Maryuri Huilca y Galo Bayas, a mis hermanas Liseth Bayas y Candy Bayas por creer en mí e impulsarme a mejorar en todo momento y circunstancia.

A mis amigos fieles quienes fueron un gran apoyo en los momentos más complicados.

A todos los profesionales que fueron pilares fundamentales para alimentar mis conocimientos y que, sin egoísmo alguno, compartieron su experiencia y sabiduría para conmigo a lo largo de estos diez semestres cursados.

Livaneza

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1 Identificación del problema.....	2
1.2 Línea base del proyecto	3
<i>1.2.1 Antecedentes de la empresa COPROBICH.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2 Misión, visión y política de inocuidad de la empresa COPROBICH.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3 Estructura Organizacional de la empresa COPROBICH</i>	<i>5</i>
<i>1.2.4 Proceso de producción de la planta procesadora de quinua COPROBICH.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.5 Situación actual de la descarga del agua residual en la empresa COPROBICH.....</i>	<i>12</i>
1.3 Beneficiarios	14
<i>1.3.1 Beneficiarios directos.....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2 Beneficiarios indirectos.....</i>	<i>14</i>
1.4 Localización del proyecto	15
1.5 Objetivos	16
<i>1.5.1 General.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.2 Específicos.....</i>	<i>16</i>

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
2.1 Desaponificado de la quinua por el método húmedo	17
2.2 Contaminación por aguas residuales de plantas procesadoras de quinua.....	17
2.3 La saponina y su comportamiento como tensoactivo.....	18

2.4	Tratamiento de aguas residuales procedentes de plantas procesadoras de quinua	19
2.5	Marco Legal Ambiental	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1	Ingeniería del proyecto	25
3.1.1	<i>Tipo de estudio</i>	25
3.1.2	<i>Métodos y Técnicas</i>	26
3.1.2.1	<i>Métodos</i>	26
3.1.3.2	<i>Técnicas</i>	27
3.1.3	<i>Toma y almacenamiento de las muestras</i>	27
3.1.4	<i>Proceso de caracterización del agua de pozo y agua residual</i>	28
3.1.4.1	<i>Procedimientos empleados para la determinación de parámetros</i>	29
3.1.4.2	<i>Análisis comparativo de la caracterización del agua de pozo</i>	32
3.1.4.3	<i>Análisis comparativo de la caracterización del agua residual de la COPROBICH</i>	33
3.1.7	<i>Tratabilidad del agua residual</i>	34
3.1.7.1	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	34
3.1.7.2	<i>Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua residual</i>	34
3.1.7.3	<i>Elección del tipo de tratamiento</i>	34
3.1.7.4	<i>Procesos empleados a nivel de laboratorio para el tratamiento del agua residual</i>	35
3.1.7.5	<i>Esquema Conceptual de los procesos utilizados para el tratamiento de agua residual</i>	36
3.1.8	<i>Determinación experimental del caudal de diseño</i>	36
3.1.9	<i>Cálculos de ingeniería para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual</i>	39
3.2.5.1	<i>Caudal de diseño</i>	39
3.2.5.2	<i>Canal de entrada</i>	42
3.2.5.3	<i>Sedimentador primario circular</i>	45
3.2.5.4	<i>Aireador (Reactor biológico)</i>	50
3.2.5.5	<i>Sedimentador secundario circular</i>	54
3.2.5.6	<i>Filtro</i>	59
3.2.5.7	<i>Lecho de secado</i>	62

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1	Resultados	67

<i>4.1.1</i>	<i>Resultados de la caracterización del agua de pozo</i>	<i>67</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Resultados de la caracterización del agua residual</i>	<i>68</i>
<i>4.1.3</i>	<i>Resultados del dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual</i>	<i>69</i>
<i>4.1.4</i>	<i>Resultados de la caracterización del agua residual tratada.....</i>	<i>72</i>
<i>4.1.5</i>	<i>Resultados del porcentaje de remoción de los parámetros contaminantes</i>	<i>74</i>
4.2	Análisis y discusión de Resultados.....	76

CAPÍTULO V

5.	COSTOS DEL PROYECTO.....	78
5.1	Costo aproximado de inversión inicial para la propuesta de la PTAR.....	78
5.2	Análisis de costos para la propuesta de la PTAR.....	79
5.3	Costos empleados para la ejecución del proyecto	80
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES.....	82
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipos de tratamiento para un agua residual.....	21
Tabla 2-2:	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	23
Tabla 1-3:	Materiales, equipos y procedimientos de muestreo según las normas INEN 2176 y la INEN 2176.....	27
Tabla 2-3:	Materiales y equipos usados en el laboratorio.....	29
Tabla 3-3:	Métodos y procedimientos empleados a nivel de laboratorio.....	29
Tabla 4-3:	Análisis comparativo de la caracterización del agua de pozo.....	32
Tabla 5-3:	Análisis comparativo de la caracterización inicial del agua residual.....	33
Tabla 6-3:	Índice de biodegradabilidad.....	34
Tabla 7-3:	Mediciones de caudal en la primera parada (Día 1).....	37
Tabla 8-3:	Mediciones de caudal en la segunda parada (Día 2).....	37
Tabla 9-3:	Mediciones de caudal en la tercera parada (Día 3).....	38
Tabla 10-3:	Mediciones de caudal en la cuarta parada (Día 4).....	38
Tabla 11-3:	Caudal promedio total del agua residual de la COPROBICH.....	39
Tabla 12-3:	Coefficiente de Manning para canales revestidos.....	42
Tabla 13-3:	Información típica para diseño de tanques de sedimentación primaria.....	45
Tabla 14-3:	Información usual para diseño de tanques de sedimentación primaria rectangulares y circulares.....	46
Tabla 15-3:	Constantes empíricas a 20 °C.....	49
Tabla 16-3:	Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados.....	50
Tabla 17-3:	Parámetros de diseño para el proceso de lodos activados.....	50
Tabla 18-3:	Ficha técnica de difusor de burbuja fina.....	54
Tabla 19-3:	Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios.....	55
Tabla 20-3:	Parámetros para el diseño de filtros con un solo medio filtrante.....	59
Tabla 21-3:	Características de lodos.....	62
Tabla 22-3:	Criterios de diseño para eras de secado.....	62
Tabla 1-4:	Resultados del caudal de diseño.....	69
Tabla 2-4:	Resultados del canal de entrada.....	69
Tabla 3-4:	Resultados del sedimentador primario circular.....	69
Tabla 4-4:	Resultados del aireador (reactor biológico).....	70
Tabla 5-4:	Resultados del sedimentador secundario circular.....	71
Tabla 6-4:	Resultados del Filtro.....	71

Tabla 7-4:	Resultados del lecho de secado.....	72
Tabla 8-4:	Resultados de la caracterización del agua tratada.....	72
Tabla 9-4:	Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes.....	74
Tabla 1-5:	Costos de inversión inicial para la PTAR.....	78
Tabla 2-5:	Costos empleados para la ejecución del proyecto.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1:	Recepción y almacenamiento de la quinua en la COPROBICH.....	8
Figura 4-1:	Escarificado de la quinua en la COPROBICH.....	8
Figura 5-1:	Proceso de lavado de la quinua en la COPROBICH.....	9
Figura 6-1:	Proceso de centrifugado de la quinua en la COPROBICH.....	10
Figura 7-1:	Proceso de secado de la quinua en la COPROBICH.....	10
Figura 8-1:	Proceso de clasificado de la quinua en la COPROBICH.....	11
Figura 9-1:	Proceso de clasificado de la quinua en la COPROBICH.....	12
Figura 10-1:	Agua residual de la COPROBICH.....	13
Figura 11-1:	Agua residual descargada de la COPROBICH.....	13
Figura 12-1:	Mapa de georreferenciación de la COPROBICH.....	15
Figura 2-3:	Resultados obtenidos en el software Hcanales.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Organigrama de la COPROBICH.....	6
Gráfico 2-1:	Diagrama de flujo del proceso de transformación de la quinua en la COPROBICH.....	7
Gráfico 1-3:	Ventas totales de la empresa COPROBICH.....	40
Gráfico 1-4:	Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua de pozo con la normativa ÍNEN 1108.....	67
Gráfico 2-4:	Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua residual con la normativa TULSMA.....	68
Gráfico 3-4:	Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua tratada con la normativa vigente.....	73
Gráfico 4-4:	Porcentaje de remoción de parámetros contaminantes.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	ANÁLISIS DE LABORATORIO
ANEXO B	MEDICIÓN EXPERIMENTAL DEL CAUDAL
ANEXO C	PRUEBAS DE TRATABILIDAD
ANEXO D	MUESTRAS DE AGUA DESPUÉS DE LA AIREACIÓN Y FILTRACIÓN
ANEXO E	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE POZO
ANEXO F	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL
ANEXO G	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA
ANEXO H	PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
ANEXO I	CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA COPROBICH

RESUMEN

El objeto del presente trabajo fue diseñar una planta de tratamiento de agua residual para la COPROBICH, puesto que el agua residual generada del lavado y centrifugado de la quinua se decargaba al medio ambiente sin algún tratamiento previo. Para ello, se realizó una caracterización del agua residual que permita determinar los parámetros que no cumplen con la normativa vigente en dicha agua, siendo los mismos: aceites y grasas (9 mg/L), color real (3520 mg/L), sólidos sedimentables (13500 mg/L), sólidos suspendidos totales (1195 mg/L), sólidos totales (4644 mg/L), nitrógeno total (250 mg/L), DQO (5000 mg/L), DBO₅ (2990 mg/L), tensoactivos (17,5 mg/L) y coliformes fecales (240). Se procede a realizar un tratamiento biológico, mismo que es ratificado por un índice de biodegradabilidad de 0,6 encontrado en la muestra de agua residual, el cual quiere decir que es muy biodegradable. Se diseñó un sedimentador primario, el cual sirvió para bajar la carga orgánica del agua, ya que remueve los sólidos en suspensión que posteriormente se sedimentan por gravedad en el mismo, luego el agua residual entra a un proceso de aireación en un reactor biológico en cual se eliminó la mayor cantidad de carga contaminante, seguido de un sedimentador secundario en el cual precipitarán los flóculos de masa orgánica previamente formados por los microorganismos presentes en reactor biológico y por último un filtro el cual termina de bajar la carga contaminante en exceso y se logra tener un agua residual tratada que cumple con la legislación ambiental, todo esto gracias a que la propuesta técnica de la planta de tratamiento de agua residual logra un porcentaje de remoción de parámetros contaminantes del 97,4 % dejando claro que los procesos dimensionados para dicha planta son eficientes, esta agua puede ser tranquilamente recirculada en el mismo proceso o reutilizada para cualquier fin pertinente.

Palabras clave: <INGENIERÍA QUÍMICA>, <PROPUESTA TECNOLÓGICA> <LAVADO DE QUINUA>, <AGUA RESIDUAL>, <PARÁMETROS CONTAMINANTES>, <TRATAMIENTO BIOLÓGICO>, <CAUDAL DE DISEÑO>.



SUMMARY

The purpose of this research work was to design a wastewater treatment plant for COPROBICH. since the residual water generated from the washing and centrifugation of the quinoa was discharged into the environment without some previous treatment. For this, a characterization of the residual water was carried out that allows determining the parameters that do not comply with the current regulations in said water, being the same: oils and fats (9 mg / L), real colour (3520 mg / L), solids sedimentable (13,500 mg / L), total suspended solids (1195 mg / L), total solids (4644 mg / L), total nitrogen (250 mg / L), COD (5000 mg / L), BODs (2990 mg / L). active strains (17,5 mg / L) and faecal coliforms (240). A biological treatment is carried out, which is ratified by a biodegradability index of 0.6 found in the wastewater sample, which means that it is very biodegradable. A primary settler was designed, which served to lower the organic load of the water, since it removes the suspended solids that subsequently settle by gravity in it, then the wastewater enters an aeration process in a biological reactor in which the greatest amount of contaminant load was eliminated, followed by a secondary settler in which the organic mass floccules previously formed by the microorganisms present in the biological reactor will precipitate and finally a filter which finishes lowering the excess contaminant load and achieves have a treated wastewater that complies with environmental legislation, all this thanks to the fact that the technical proposal of the wastewater treatment plant achieves a percentage of removal of pollutant parameters of 97.4% making it clear that the processes sized for said plant they are efficient, this water can be quietly recirculated in the same process or reused to any relevant purpose.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING>, <TECHNOLOGICAL PROPOSAL>, <QUINUA WASHING>, <RESIDUAL WATER>, <CONTAMINATING PARAMETERS>, <BIOLOGICAL TREATMENT>, <DESIGN FLOW>.



INTRODUCCIÓN

“Los gobiernos a través de comando y control e instrumentos económicos intentan obligar a quienes contaminan para que internalicen las externalidades negativas que causan sobre el medio ambiente. Los primeros operan imponiendo restricciones en el comportamiento de firmas e individuos y los últimos tratan de persuadir a la gente para que voluntariamente cambie hacia un uso más sostenible del medio ambiente” (Moreno, 2005, p. 1).

Al exportar la quinua al mercado internacional de los países como: Francia, Bélgica, Alemania, Canadá y Holanda la Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH), está comprometida a obtener una máxima calidad en sus productos y una constante innovación y tecnología en sus procesos.

En la actualidad no es raro oír de plantas de tratamiento de aguas residuales y más aún si se considera también la posibilidad de reutilizar el agua en el mismo proceso, que en el caso de COPROBICH se la desecha, pudiendo ser reutilizada.

Las aguas con concentraciones de saponinas a más de ser desperdiciadas son contaminantes del medio ambiente muy importantes debido a su alta toxicidad. Al tener un diseño de una planta de tratamiento de agua residual para poder posteriormente ser implementada, COPROBICH no solo estaría aprovechando al máximo sus recursos, sino que también contribuiría en una considerable medida con el medio ambiente.

Como parte del proyecto de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH): **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE CONSUMO DE LA QUINUA Y SUS DERIVADOS (COPROBICH)”**, que desea aprovechar al máximo todos sus recursos y no desperdiciarlos, la COPROBICH se ve en la necesidad del diseño de una planta de tratamiento de agua residual para la descarga del efluente que se produce al procesar la quinua y si es posible poder reutilizar el agua tratada en el mismo proceso mediante una recirculación o a su vez, reutilizarla para otros fines necesarios.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

En Ecuador la comercialización de quinua es un cereal que genera grandes ingresos económicos, existen varias empresas que se encargan del procesamiento e incluso su comercialización. Tras el procesamiento de la quinua se generan aguas residuales que son altamente contaminantes, debido a que este cereal contiene en su estructura, sustancias químicas muy tóxicas llamadas saponinas y que al contacto con el agua forman una solución.

Chimborazo es una de las provincias que lidera el cultivo de quinua y su comercialización, uno de los procesos más importantes en la quinua es la desaponificación, por lo que, las empresas además del proceso de escarificado deben realizar el proceso de lavado y centrifugado, empleando grandes cantidades de agua para obtener una mejor remoción de saponinas, estas aguas tienen una alta concentración y en la mayoría de las empresas se desecha al medio ambiente sin ser tratada.

En el cantón Colta una de estas empresas es la COPROBICH, que está situada de forma estratégica en la parroquia de Cajabamba. Esta corporación está legalmente reconocida y se dedica a la producción, transformación y comercialización de la quinua a nivel nacional e internacional; sin embargo, durante el proceso de transformación que sufre la quinua específicamente en el proceso de lavado y centrifugado de ésta, se consume una elevada cantidad de agua, a tal punto de que en la empresa no se puede realizar ninguna otra actividad que necesite de agua y además se genera la llamada solución de saponinas que se considera como agua residual del proceso y que luego es descargada bajo ninguna normativa generando inconformidades en la empresa.

1.2 Línea base del proyecto

1.2.1 Antecedentes de la empresa COPROBICH

La COPROBICH nace de un proceso de organización y comercialización impulsado por Escuelas Radiofónicas Populares de Ecuador (ERPE); entre 1997 y 2003 ERPE organiza a 89 comunidades con alrededor de 2800 familias indígenas y apoya su constitución legal para crear la empresa.

Hasta el año 2008 COPROBICH comercializaba la quinua a través de la empresa Sumak Life. Así en este año Sumak Life exportó 7000 quintales de quinua (318,18 TM). Con la subida de los precios a nivel internacional, y las exigencias de democracia/transparencia interna de Fairtrade Labelling Organization, Sumak Life (FLO), decidió abandonar la certificación FLO entrando en contradicción con las aspiraciones de la COPROBICH. Con este antecedente, para fines del 2008, el directorio de la COPROBICH decide comprar y exportar quinua directamente. Esta propuesta fue validada por la Asamblea de Cabecillas y productores representantes de las comunidades socias de COPROBICH y posteriormente por el Congreso de socios, máxima autoridad de la COPROBICH, iniciándose así para el 2009, las primeras exportaciones hacia Inglaterra y Francia, usando a Sumak Life como maquiladora para la preparación de la quinua.

A raíz de que la COPROBICH cuenta con su propia planta procesadora de quinua ha ganado un gran reconocimiento e independización gracias a su gran esfuerzo y a la ayuda y financiamiento de entidades externas, también posee un gran poder de negociación frente a diferentes actores y exporta al mercado internacional de los países como Francia, Bélgica, Alemania, Canadá y Holanda. Sin embargo, no cuenta con un adecuado manejo de sus residuos sólidos y líquidos, dentro de los cuales podemos resaltar el agua residual con una alta concentración de saponinas generada durante el proceso de lavado y centrifugado de la misma.

Desde inicios del año 2019 la COPROBICH forma parte de un macroproyecto de la ESPOCH llamado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE CONSUMO DE LA QUINUA Y SUS DERIVADOS (COPROBICH)”**, con el cual ha analizado el posible financiamiento de una planta de tratamiento residual para el agua generada durante el proceso de transformación que sufre la quinua con la finalidad de poder cumplir con la normativa vigente para que ésta sea desechada y optar por la posibilidad de una recirculación de la misma.

Esta corporación tiene como presidente al señor Manuel Abemañay Mullo y está conformada como una organización de primer grado, con 86 socios naturales (productores de quinua) como fundadores, que pueden elegir y ser electos como miembros del directorio. Sin embargo, desde el 2009 se han ido actualizando las listas de socios, contando en la actualidad con 1632 socios debidamente registrados en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP).

En un acuerdo con los docentes encargados del macroproyecto de investigación de la ESPOCH, el mismo presidente de la COPROBICH ha dado la apertura necesaria en la planta procesadora de quinua para realizar los estudios pertinentes y llevar a cabo el proyecto técnico que involucra la propuesta del diseño de una planta de tratamiento para el agua residual que se desecha de dicha planta.

1.2.2 Misión, visión y política de inocuidad de la empresa COPROBICH

➤ Misión

Producir, transformar y comercializar productos de alta calidad, cumpliendo estándares mundiales para satisfacer y superar las demandas de sus clientes, promoviendo la protección del medio ambiente, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de sus socios y de la provincia de Chimborazo.

➤ Visión

Ser una organización líder en el país, competitiva, de alta productividad; gracias a su gestión transparente, capacidad y compromiso de su talento humano. Produciendo cereales como quinua, cebada y trigo, productos terminados de alta calidad tanto para el mercado nacional como de exportación, trabajando con responsabilidad social-medioambiental.

➤ Política de Inocuidad

La COPROBICH tiene como política de seguridad alimentaria producir y elaborar productos orgánicos, inocuos para el consumidor según requisitos del cliente de acuerdo con normas nacionales e internacionales vigentes y sus modificaciones para la producción de alimentos; promoviendo el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

1.2.3 Estructura Organizacional de la empresa COPROBICH

La COPROBICH, está constituida por los siguientes organismos:

a. El Congreso de socios

Está formado por todos los socios filiales a la organización que se reúnen cada tres años para elegir el nuevo directorio y definir los ejes de acción de la corporación.

b. La Asamblea de Cabecillas

Está compuesta por todos los cabecillas, como representantes de cada comunidad o asociación con socios afiliada a la COPROBICH. La persona responsable es el presidente de la COPROBICH o por quien lo subroge legalmente. La asamblea debate y aprueba las propuestas planteadas por el directorio y coordina con el equipo técnico de la COPROBICH.

c. El Directorio

Es el órgano que presenta propuestas a la asamblea y lleva el control y ejecuta las decisiones tomadas por la asamblea de cabecilla; rinde cuentas a la asamblea de cabecillas. Está integrado por los siguientes dignatarios: presidente, vicepresidente, secretario de actas y comunicaciones, prosecretario y tesorero.

d. Comisiones permanentes y temporales

Dentro de las comisiones, la comisión interna de vigilancia es de vital importancia y es la que realmente esta activa. Está integrada por cuatro cabecillas, uno de cada zona. La comisión es el ojo de la asamblea sobre la gestión de la organización realizada por el directorio y el equipo técnico.

e. Unidad Técnica Administrativa

No consta en la estructura orgánica de la COPROBICH, pero en la práctica funciona con los técnicos que ejecutan las actividades administrativas, de campo y de comercialización, en los distintos ámbitos de la organización con el direccionamiento del directorio.

El equipo técnico administrativo actual de la COPROBICH está conformado por tres personas permanentes con contrato:

1. **Un coordinador técnico** responsable de la asistencia técnica en el procesamiento y del componente ambiental de la COPROBICH.
2. **Un Promotor de comercialización** que cuenta con el apoyo de un técnico contratado a medio tiempo.
3. **Una secretaria** que forma parte del directorio da su apoyo al equipo técnico administrativo, por lo que se le reconoce una bonificación mensual.

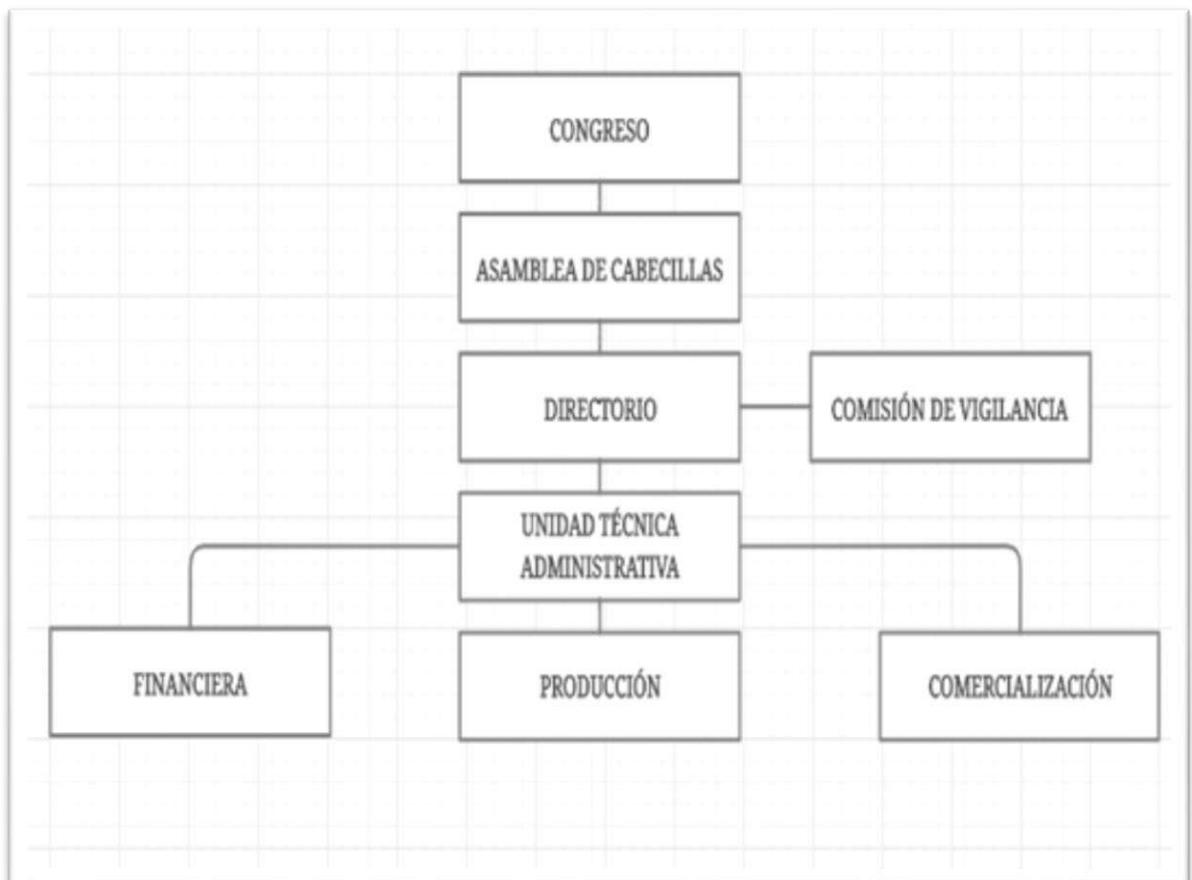


Gráfico 1-1: Organigrama de la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

1.2.4 Proceso de producción de la planta procesadora de quinua COPROBICH

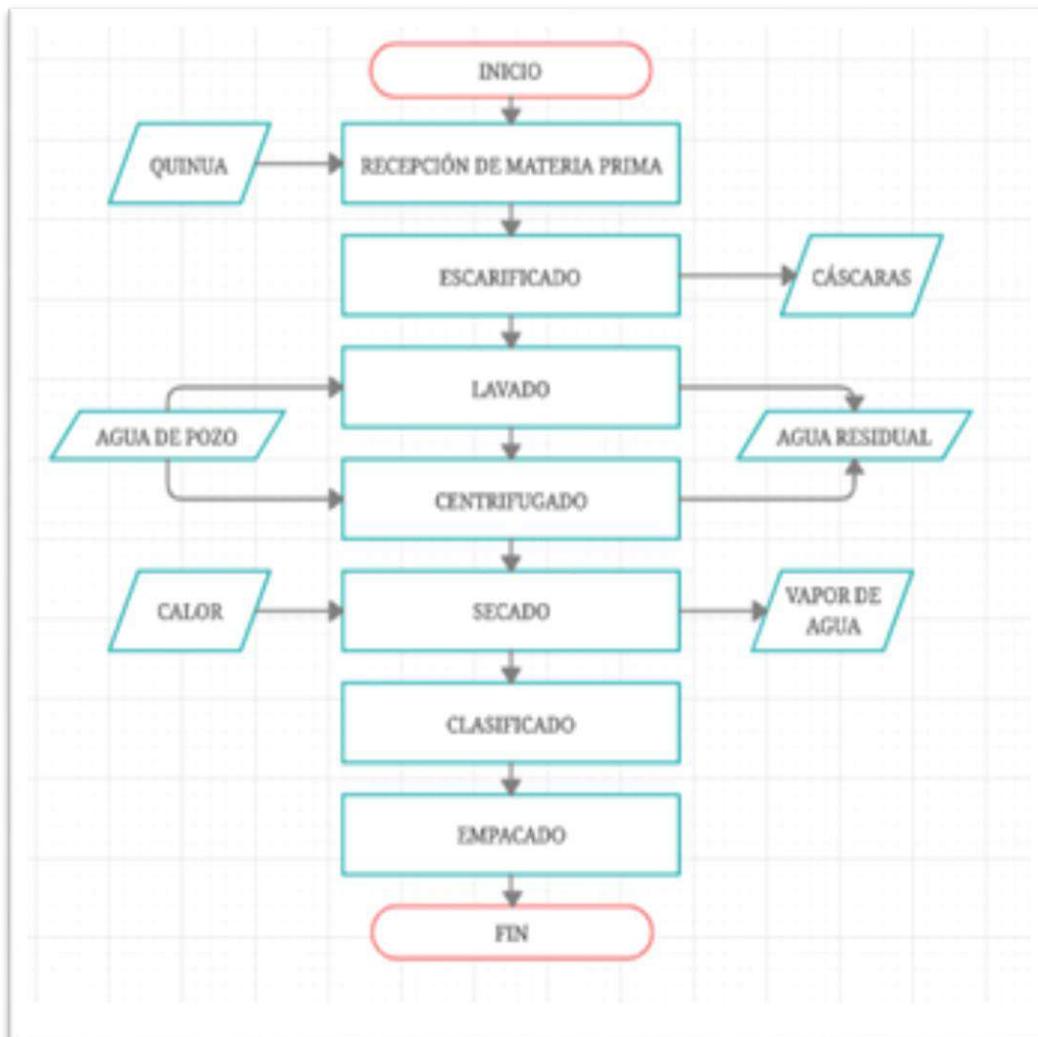


Gráfico 2-1: Diagrama de flujo del proceso de transformación de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L.

a. Recepción de materia prima

El proceso de transformación que sufre la quinua empieza por la recepción de los quintales de ésta a granel que son comprados a los proveedores por parte de la corporación. La quinua receptada pasa por un control de calidad en el cual se califican parámetros como la humedad y otras impurezas. Para el correcto almacenaje de estos quintales de quinua se debe considerar cierta distancia desde el piso tanto como desde el techo para garantizar su calidad e inocuidad.



Figura 3-1: Recepción y almacenamiento de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

b. Escarificado de la quinua

En este proceso se retira la cáscara de la quinua mediante fricción y tiene como finalidad reducir los riesgos debido a la toxicidad de saponina continúa en la misma y a posibles microorganismos presentes.



Figura 4-1: Escarificado de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

c. Lavado

Debido al gran contenido de saponina que tiene el grano de quinua debe ser sometido a un proceso de lavado para quitar totalmente el contenido de saponina que tiene características tóxicas y le da un amargor al grano; el proceso es realizado con agua de pozo con características de calidad muy buenas y es muy rápido para no afectar a la calidad nutricional del grano.



Figura 5-1: Proceso de lavado de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

d. Centrifugación

Al ser sometidos a un proceso de lavado, la quinua debe eliminar el exceso de agua en su estructura y es sometida a una fuerza centrífuga para disminuir la cantidad de ésta.



Figura 6-1: Proceso de centrifugado de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

e. Secado

Esta etapa del proceso evita la formación de mohos y demás contaminantes e impurezas que puedan llegar a ser absorbidos por el grano cuando permanece mucho tiempo húmedo y por ende afectar la calidad de éste. Para el secado se alcanza una temperatura de 100 °C.



Figura 7-1: Proceso de secado de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

f. Clasificado

La quinua es clasificada en una máquina que hace la función de una mesa densimétrica que vibra y está inclinada, de este modo los granos con menor densidad se van hacia la parte inferior son sometidos a una corriente de aire para una nueva selección, mientras que los de mayor densidad se quedan en la parte superior de la máquina.



Figura 8-1: Proceso de clasificado de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

g. Empacado

Puede ser de forma automática o también manual dependiendo del producto, en el empaçado se debe tener la mayor inocuidad posible para así evitar una contaminación del producto y por ende la disminución de su calidad.



Figura 9-1: Proceso de clasificado de la quinua en la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

1.2.5 Situación actual de la descarga del agua residual en la empresa COPROBICH

El agua residual procedente de la planta procesadora de quinua en la COPROBICH generalmente era conducida y depositada en una especie de fosa, pero actualmente es descargada en acequias; el agua residual que procede del lavado y centrifugado de la quinua no recibe ningún tratamiento previo a su descarga, situación que preocupa a los dirigentes de la empresa ya que han recibido inconformidades con respecto a la dicha descarga en las auditorías realizadas.



Figura 10-1: Agua residual de la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019



Figura 11-1: Agua residual descargada de la COPROBICH

Realizado por: Bayas, L. 2019

1.3 Beneficiarios

1.3.1 Beneficiarios directos

- Los dirigentes, socios y trabajadores de la CORPORACIÓN DE PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES BIO TAITA CHIMBORAZO – COPROBICH, ya que una planta de tratamiento de agua residual es una inversión primordial y muy necesaria para la empresa para su correcto desenvolvimiento. Es así como, dicha planta ayudará a evadir problemas en el aspecto legal ambiental con los entes que regulan el mismo.

1.3.2 Beneficiarios indirectos

- Las comunidades que habitan cerca del lugar de descarga, mejorando así, su calidad de vida, puesto a que no estarán expuestos a aguas residuales contaminadas que pueden afectarles en distintos aspectos.
- El Gobierno autónomo descentralizado (GAD) provincial de Chimborazo y el GAD municipal de Riobamba que son los encargados de promover el cuidado y protección del medio ambiente.
- Los proveedores de la empresa y los consumidores del producto. Ya que dependen de la producción que se realiza a nivel de la planta y a su vez ésta depende de un correcto manejo de sus residuos sólidos y líquidos.

1.4 Localización del proyecto

La presente propuesta técnica pretende ser llevada a cabo en la planta procesadora de quinua de la COPROBICH, ésta se encuentra ubicada en el sector Mishquilli a aproximadamente un kilómetro de la parroquia Cajabamba en el cantón Colta por la vía Camaño con coordenadas $1^{\circ}42'47.5''S$ $78^{\circ}45'37.1''O$.

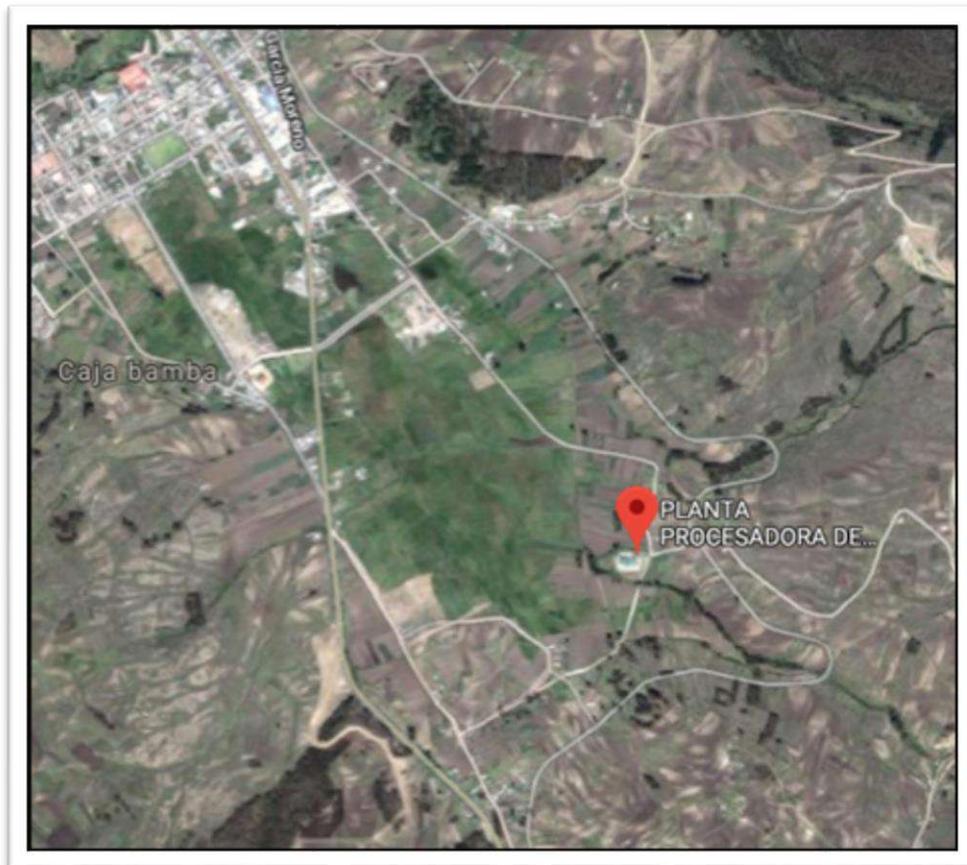


Figura 12-1: Mapa de georreferenciación de la COPROBICH

Fuente: (Google maps, 2019)

1.5 Objetivos

1.5.1 General

- Diseñar una Planta de Tratamiento de Agua Residual para la Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo – COPROBICH

1.5.2 Específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua que ingresa al proceso de lavado de la quinua y del agua residual generada.
- Ejecutar pruebas de tratabilidad de agua residual.
- Identificar las variables de proceso apropiadas para los cálculos de ingeniería respectivos para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización del agua tratada en base a la normativa vigente.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Desaponificado de la quinua por el método húmedo

Es el llamado desaponificado de la quinua por lavado y se basa en poner en remojo la quinua y aplicar turbulencia en forma circular para eliminar la saponina del grano de quinua en disolución (Vimos, et al., 1992, p. 20).

La desaponificación por vía húmeda se da por un efecto mecánico abrasivo del agua desplazada a una alta velocidad sobre la superficie del grano de quinua (Almeida, 2015, p. 21).

Para facilitar la eliminación de la saponina de la quinua, es necesario que anterior al proceso de lavado se realice un proceso de escarificado. Otro aspecto importante para tomar en cuenta es que posterior al proceso de lavado se dé el centrifugado para ayudar a eliminar el agua del grano de la quinua, evitar la germinación del grano y facilitar el secado de ésta.

2.2 Contaminación por aguas residuales de plantas procesadoras de quinua

Las principales consecuencias ambientales en esta clase de empresas se deben a la generación de residuos sólidos y líquidos.

Como consecuencia del desaponificado de la quinua por vía húmeda, se generan efluentes concentrados de saponina los mismos que se desechan a las acequias, manantiales y cursos de agua ignorando que esta agua residual es bastante contaminante. Además, se tiene antecedentes que cuando este proceso se lo realizaba de manera artesanal influía con daños en el sistema respiratorio y también con irritación en los ojos. La saponina que se encuentra en solución con el agua utilizada para el desamargado de la quinua por vía húmeda es muy tóxica para animales de agua fría que respiran por branquias como peces, moluscos, ranas, sapos y otros porque permeabiliza sus membranas respiratorias y provoca su muerte (Gamarra, 2016, p. 17).

La toxicidad de este tipo de aguas residuales tiene un enorme impacto en ecosistemas frágiles como lo es el altiplano donde se cultiva y procesa la mayor cantidad de quinua a nivel general,

afectando a especies endémicas como la rana del lago y especies ícticas como el *ispi* y el *k'arachi*, entre otros, en el caso de Bolivia (Zabaleta, 2010).

Pese a que la saponina tiene muchas aplicaciones, no se han encontrado procedimientos que las plantas procesadoras de quinua ejecuten para retirarla del efluente, con el objetivo de reducir la contaminación en los cuerpos de agua circulante y así obtener un subproducto del cual se pueda obtener un beneficio.

En diversas empresas que se dedican al procesamiento de la quinua para lograr desaponificarla se genera una gran cantidad de agua contaminada con saponinas que son descargadas sin ningún tratamiento previo, dando como resultado desequilibrios importantes en ecosistemas acuáticos, así como irregularidades en tratamientos biológicos en aguas residuales domésticas, si se desechara al sistema de alcantarillado público.

2.3 La saponina y su comportamiento como tensoactivo

Los tensoactivos, conocidos también como surfactantes son agentes químicos de superficie activa; éstos se encuentran en muchas ramificaciones industriales tales como detergentes, pinturas, adhesivos, cosméticos, entre otros. Sin embargo, no todos los surfactantes son productos industrializados como los mencionados anteriormente, también existen surfactantes naturales como las saponinas, mismas que son de origen vegetal.

Como parte de los efectos más contaminantes de los tensoactivos en el recurso agua se tiene:

1. Aumenta el pH de aguas residuales cambiando el ciclo de vida de animales acuáticos.
2. Causan el aumento de nutrientes en los cauces de los ríos que reciben aguas residuales promoviendo la formación de algas y malos olores por la acumulación de fósforo.
3. Se pueden disolver en agua metales pesados como mercurio, plomo y cromo alterando la cadena trófica y causando perjuicios en de tipo genético en especies.
4. Cloro y compuestos organoclorados suelen incrementar su concentración convirtiéndose en una gran amenaza puesto a que poseen efectos mutagénicos y cancerígenos.
5. La demanda de oxígeno necesaria para la descomposición de compuestos de origen orgánico debido a la presencia de surfactantes provoca condiciones de anoxia provocando la muerte de flora y fauna acuática
6. Algunos tensoactivos son altamente tóxico afectando las condiciones de vida de microorganismos y organismos superiores.
7. Poseen un impacto directo en procesos de sedimentación, floculación y coagulación en plantas que realizan la depuración.

8. Contamina las aguas subterráneas.
9. Producen grandes cantidades de espuma en agua produciendo cambios con respecto a la dilución de oxígeno y además afecta el atractivo paisajístico.
10. Según estudios previos realizados los puntos antes tratados afectan a parámetros como: tensoactivos, DQO (Demanda química de oxígeno), DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno), grasas y aceites, hidrocarburos totales, compuestos fenólicos y otros, sobrepasando los límites permisibles establecidos en la norma ambiental, superando en algunos de los casos, con concentraciones muy elevadas. (Brand, 2019, p. 9)

2.4 Tratamiento de aguas residuales procedentes de plantas procesadoras de quinua

En Ecuador, actualmente, no se conoce de plantas de tratamiento para el agua residual proveniente del procesamiento de la quinua por vía húmeda. Sin embargo, existen algunos tratamientos que se pueden emplear de acuerdo con las características que tenga el agua a realizarse dicho tratamiento.

➤ *Tratamiento preliminar*

Se realiza para proteger a las instalaciones de los tratamientos posteriores preparando y acondicionando las aguas residuales desde un inicio y reduciendo características indeseables. Dentro de los tratamientos preliminares podemos mencionar rejas o tamices, trituradores, desarenadores, desengrasadores y preaireación. (Canjura & Lemus, 2003, p. 9)

➤ *Tratamiento primario*

Su función es la de remover por medio de procesos físicos o mecánicos una gran parte de material suspendido o que se mantiene en la superficie. También remueve una parte importante de fracción de carga orgánica, aproximadamente de un 25% a un 40% de la DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno) y de un 50% a un 65% de los sólidos suspendidos. Entre estos tratamientos se encuentra la sedimentación primaria, flotación, precipitación química, filtros gruesos, oxidación química, coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Canjura & Lemus, 2003, p. 10).

➤ *Tratamiento secundario*

Se lleva a cabo mediante procesos biológicos que permiten disminuir o transformar la materia orgánica en sólidos sedimentables que se aglomeran en forma de flóculos y que se pueden eliminar en tanques de decantación. Entre los procesos biológicos más empleados se encuentran los lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización y aireadas, así también el tratamiento biológico utilizando oxígeno puro o el tratamiento anaerobio. Este tipo de

tratamientos remueven entre un 85% y 95 % la DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) (Canjura & Lemus, 2003, p. 11).

➤ *Tratamiento terciario*

Adicional a lo antes mencionado también existen tratamientos avanzados o terciarios los cuales pueden ser físicos, químicos y biológicos.

La desinfección se considera el último de los procesos a seguir para tratamiento de aguas residuales y sirve para eliminar bacterias, virus y quistes amebianos. Se lo ejecuta por medio de agentes químicos, físicos, mecánicos y por radiación. La más empleada es la desinfección química con cloro (Rojas, 2002, p. 15).

Tabla 1-2: Tipos de tratamiento para un agua residual

Tratamiento preliminar	Tratamiento primario		Tratamiento secundario		Tratamiento terciario
✓ Desbaste	Físico	Químico	Remoción materia orgánica y coloidal.	Remoción de sólidos suspendidos.	✓ Coag. / sedimen.
▪ Rejas	✓ Neutralización	✓ Flotación	✓ Lodos activados	✓ Sedimentación	✓ Filtración
▪ Rejillas	✓ Coag. / sedimen.	✓ Sedimentación	✓ Aireación prolongada		✓ Adsorción carbón activado
▪ Cedazos	✓ Cloración		✓ Filtración biológica		✓ Intercambio iónico
✓ Trituradores	✓ Adición de nutrientes		✓ Discos rotatorios		✓ Destilación
✓ Desarenado			✓ Procesos aerobios		✓ Ósmosis inversa
✓ Separación aceite y grasas			✓ Procesos anaerobios		✓ Aplicación en suelo.
✓ Homogenización					✓ Cloración u ozonificación

Fuente: (Crespi, 1996)

Realizado por: Livaneza Bayas, 20

2.5 Marco Legal Ambiental

✓ Constitución de Ecuador

“Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.” (Asamblea Constituyente, 2008, p.177)

✓ Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental del Ecuador

“Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.” (Congreso Nacional, 2004, p.2)

✓ Ley de Gestión Ambiental del Ecuador

“Art. 9.- Le corresponde al Ministerio del ramo:

...j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.” (Congreso Nacional, 2004, p.3)

✓ Ley Orgánica de Salud del Ecuador

“Art. 104.- Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades.

Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir esta disposición.” (Congreso Nacional, 2006, p.20).

Anexo 1 del libro VI Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Tabla 12.

Tabla 2-2: Límites de 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 ⁺	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁺	mg/l	1000,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Unidades de color	Unds de pt-co	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	250,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2017, p.329-332)

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 2-2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce continuación.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	15,0
Organoclorados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,05
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 Sedimentables	SS	mg/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	100,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000,0
Sulfitos	SO ₃ ²⁻	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente 2017, p.329-332)

Realizado por: Bayas, L. 2019

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ingeniería del proyecto

El presente proyecto se ejecutará en cuatro etapas:

- La primera será la toma y almacenamiento de las muestras tanto del agua que utilizan para el lavado y posterior centrifugado del agua residual que sale de estos dos procesos.
- La segunda etapa será la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de agua que se la realizará en el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH con el fin de ver la calidad de agua que se está utilizando en el procesamiento de la quinua y del agua residual que se está descargando,
- La tercera etapa será la ejecución de las distintas pruebas de tratabilidad de acuerdo con el índice de biodegradabilidad que presenten las muestras de agua residual y también se llevará a cabo en el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH.
- La cuarta y última etapa será el dimensionamiento tecnológico de la planta mediante cálculos de ingeniería, mismo que será validado.

3.1.1 Tipo de estudio

El estudio en el que se basa el presente proyecto es de tipo técnico ya que se realizarán varias experimentaciones para lograr obtener el proceso adecuado para el tratamiento del agua residual de la COPROBICH y finalmente diseñar la planta de tratamiento que se propone para que los parámetros fuera de norma logren estar dentro de los límites de ésta.

Dicho estudio deberá seguir un proceso bastante organizado y sistemático para lograr buenos resultados con la menor inversión de recursos posibles.

3.1.2 Métodos y Técnicas

3.1.2.1 Métodos

Los métodos más apropiados para el desarrollo de un proyecto técnico son: el método inductivo, el método deductivo y el método experimental. Estos métodos científicos ayudarán a encontrar las variables indispensables para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual.

➤ *Método deductivo*

En este método con ayuda de conocimiento general se llegan a obtener observaciones específicas. Parte de una gran recopilación o hipótesis y pretende obtener una conclusión específica lógica.

Al aplicar este método en el presente trabajo se podrá partir de una idea general acerca de la descarga del efluente por parte de la COPROBICH y llegar a plantear soluciones definidas para el correcto tratamiento de éste. Adicionalmente también se puede emplear bibliografía, la cual permitirá obtener una idea de la cual va a ser el diseño para seguir que va a ser más factible e implementable en la disminución la concentración de parámetros contaminantes en el agua residual.

➤ *Método inductivo*

Es un método experimental que permite realizar un análisis inicial por medio de varias observaciones específicas de la raíz del problema, con la intención de conocer todo con respecto al estudio y poder concluir generalmente.

En este trabajo, al ejecutar el método inductivo podremos realizar un análisis minucioso de las características del agua descargada que se encuentra contaminando el medio ambiente y así tomar las muestras necesarias en el punto específico para que posteriormente sean sometidas a posibles tratamientos.

➤ *Método experimental*

Se realizan pruebas bajo control y se manipulan algunas variables para ver su efecto sobre una variable dependiente.

En el presente trabajo, este método se llevará a cabo a nivel de laboratorio y servirá para obtener datos reales y realizar un buen dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua adecuada.

3.1.3.2 Técnicas

Para este proyecto vamos a considerar como técnicas a las normas y procedimientos que ayudarán a culminar el estudio propuesto. Es así que para llevar a cabo dicho estudio consideraremos las siguientes técnicas:

- NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO
- NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.
- Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales; APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN

3.1.3 Toma y almacenamiento de las muestras

Tabla 1-3: Materiales, equipos y procedimientos de muestreo según las normas INEN 2176 y la INEN 2176

MATERIALES	EQUIPOS
Guantes desechables	Equipo de protección personal
Envases de vidrio	
Envases de plástico	
Envase estéril	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	
DISPOSICIONES GENERALES	
Se debe evitar la contaminación de la muestra. Se recomienda separarlas muestras que van a ser usadas en los análisis químicos, microbiológicos y biológicos. Existen diferentes tipos de muestras: Muestras puntuales, periódicas, continuas, en serie y compuestas. Para análisis microbiológicos se debe tomar muestras en envases estériles.	
MUESTREO	
En muestras que se van a analizar parámetros físicos y químicos se debe llenar los recipientes por completo.	
MUESTRAS PUNTUALES	
Son muestras individuales tomadas de forma manual o automática. Cada muestra representa la calidad de agua solamente en el tiempo y en el lugar que fue tomada	
MUESTRAS COMPUESTAS	
Se pueden obtener de forma manual o automática sin importar el tipo de muestreo. Se toman continuamente muestras que se reúnen para obtener muestras compuestas	
CONSERVACIÓN DE MUESTRAS	
Para la preservación de muestras, los recipientes no se deben llenar completamente, las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas a las que fueron recolectadas. La refrigeración es efectiva si se la realiza inmediatamente después de la recolección de la muestra	

Realizado por: Bayas, L. 2019

La toma de las muestras se llevará a cabo in situ en la planta procesadora de quinua de la COPROBICH.

Para la primera caracterización se tomarán dos muestras, una del agua que se utiliza para el lavado de la quinua, la misma que es procedente de un pozo, y la otra del agua residual proveniente del lavado y centrifugado de la quinua. Asegurándose de que estas muestras sean representativas.

De acuerdo con la normativa antes mencionada para la toma de muestras se seguirá el siguiente procedimiento:

- Esterilizar los frascos para el muestreo, se pueden utilizar envases de polietileno.
- Seleccionar el punto de muestreo ya sea en el canal de descarga o en el colector.
- Tomar la muestra con precaución de tal manera que no se contamine con agentes ajenos al agua, antes de envasar el agua se debe enjuagar el recipiente con el agua a muestrear.
- Etiquetar el frasco con ayuda de un marcador con la hora, el lugar y el tipo de agua muestreado.
- Mantener los frascos de la muestra tomada refrigerados hasta que se realice su análisis en los laboratorios.

Para la toma de muestras también se utilizarán mandil, guantes, mascarilla y demás medidas de protección a fin de evitar la contaminación del agua muestreada por agentes externos.

Para el agua residual se deberá tomar una muestra compuesta, para ello se recogerá un determinado volumen que va a ser constante por cada parada que se realice al día. En la COPROBICH se realizan 4 paradas por día, esto debido a que partir del mediodía los mismos operadores que se encargan del escarificado, lavado y centrifugado de la quinua también se encargan del secado, clasificado y empacado del grano de quinua.

Las muestras tomadas que no se analicen inmediatamente se llevarán a refrigeración hasta que se las pueda llevar a realizar el análisis respectivo.

3.1.4 Proceso de caracterización del agua de pozo y agua residual

Tanto para llevar a cabo los análisis del agua de pozo como del agua residual se realizarán en el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH, procedimientos establecidos los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales; APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.

Tabla 2-3: Materiales y equipos usados en el laboratorio

Materiales y Equipos	Función
Espectrofotómetro DR 2800	Análisis de aguas y otros
Fotómetro PF-12	Análisis de aguas y otros
Turbidímetro	Medición turbiedad
pHmetro	Medición Potencial de hidrógeno
Conductímetro	Medición conductividad y temperatura
balanza analítica	Determinación de peso
Autoclave	Esterilización
Vasos de precipitación	Recipientes contenedores de muestras
Embudos de separación	Recipiente para análisis de aceites y grasas y tensoactivos
Pipetas	Dosificación de volúmenes exactos
Peras de succión	Instrumento de ayuda para pipetas
Cajas petri	Recipiente para análisis de sólidos totales y análisis microbiológico de aguas
Cubetas de análisis	Análisis de aguas y otros

Realizado por: Bayas, L. 2019

3.1.4.1 Procedimientos empleados para la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Tabla 3-3: Métodos y procedimientos empleados a nivel de laboratorio

PARÁMETRO	METODO	PROCEDIMIENTO
ALCALINIDAD	TITULACIÓN	Tomar 25 ml de muestra, añadir 2 gotas de fenolftaleína, titular con ácido sulfúrico (viraje: rosado-incoloro), adicionar 3 gotas de naranja de metilo, titular con ácido sulfúrico (viraje: naranja-rosado)
ACEITES Y GRASAS	EXTRACCIÓN	En un embudo de separación se coloca 250 ml de la muestra de agua y se añade 30 ml de hexano, se realiza una primera extracción, luego de aproximadamente 10 minutos, se realiza una nueva extracción con otros 30 ml de hexano más, 10 minutos más tarde se destila el disolvente y se pesa el residuo secado.
COLIFORMES TOTALES Y FECALES	FILTRACIÓN AL VACÍO Y CULTIVO	Se filtran 100 ml o 0,1 ml dependiendo de la calidad del agua, se añade el reactivo y se deja cultivar a una temperatura mayor a los 35 °C.
COLOR	COLORIMÉTRICO	Se selecciona en el espectrofotómetro DR2800 el test 125 COLOR 465 nm, llenar una cubeta con 10 ml de agua destilada (blanco), colocar y presionar cero, llenar una cubeta con 10 ml de agua de muestra y medir.
CLORUROS	TITULACIÓN	Se toman 25 ml de muestra, se añade 4 gotas de cromato de potasio y se titula con nitrato de plata 0,01 N (viraje: amarillo-ladrillo)

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 3-3: Métodos y procedimientos empleados a nivel de laboratorio, continuación...

PARÁMETRO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO
DQO	COLORIMÉTRICO	Tomar 2 ml de muestra sea entera o diluida de acuerdo con la calidad del agua, introducir en el vial HACH (CAT 2125925), someter a calentamiento a 180 °C en el Thermoreactor, en el espectrofotómetro DR2800 seleccionar el test 435, colocar el blanco (vial con agua destilada) con la marca de llenado hacia el frente y se lleva a cero, luego se coloca el vial con la muestra y se realiza su medición.
DBO5	GASOMÉTRICO	Tomar 95 ml de muestra sea entera o diluida según la calidad del agua, se agregan los nutrientes Ca, Fe, Mg; condición de pH, se adiciona una cápsula de NaOH para evitar la fuga de gases y se realiza la medición a los 5 días después.
DUREZA	TITULACIÓN	Tomar 25 ml de muestra, añadir 1 ml de cianuro de potasio, 2ml de buffer pH 10, pizca de indicado Negro de Eriocromo T. y titular con EDTA 0,02 M (viraje: rojo-azul)
FLUORUROS	SPANDS	Seleccionar en el espectrofotómetro DR2800 el test 190 correspondiente para fluoruros, llenar una cubeta con 10 ml de muestra y añadir 2 ml del reactivo SPANDS, dejar un minuto de tiempo de reacción, preparar el blanco con 10 ml de agua destilada y añadir la misma cantidad de reactivo (debe ser en simultáneo con la muestra), colocar en el equipo el blanco, llevar a cero, colocar la muestra y medir.
FOSFATOS	COLORIMÉTRICO	En el espectrofotómetro DR2800 seleccionar el test 4 P react. PV, llenar una cubeta con 10 ml de muestra, añadir el reactivo PhosVer 3 en polvo, agitar con rotación para mezclar, seleccionar en la pantalla el signo temporizador y pulsar ok, comienza un periodo de reacción, para el blanco llenar una cubeta con 10 ml de agua destilada, después que suene el temporizador, colocar el blanco, pulsar cero y luego colocar la muestra y medir
HIERRO	COLORIMÉTRICO	Seleccionar en el espectrofotómetro el test 265 Hierro FerroVer, llenar la cubeta con 10 ml de muestra, añadir el reactivo de hierro Ferrover en polvo, agitar con rotación para mezclar, se formará un color anaranjado en presencia de hierro seleccionar en la pantalla el temporizador y pulsar ok, comienza el periodo de reacción, preparar el blanco con 10 ml de agua destilada, cuando suene el temporizador, colocar el blanco llevar a cero, después colocar la muestra y medir.
N TOTAL	COLORIMÉTRICO	En el espectrofotómetro DR2800 seleccionar el test 394 N total RA TNT, en dos tubos de digestión de hidróxido de nitrógeno total RA añadir el contenido de un sobre de reactivo de persulfato de nitrógeno total en polvo, añadir 0,5 ml de muestra al un tubo y 0,5 ml de agua desionizada al otro tubo, tapar varios tubos y agitar vigorosamente por 30 segundos, colocar los tubos en el Thermoreactor durante 30 minutos, luego enfriar los tubos a temperatura ambiente, añadir a los tubos un sobre A de reactivo de nitrógeno total (TN), tapar los tubos y agitar durante 15 segundos, seleccionar en la pantalla el temporizador y pulsar ok, comienza un periodo de reacción de 3 minutos, cuando suene el temporizador añadir a los tubos un sobre B de TN en polvo a cada uno, tapar los tubos y agitar durante 15 segundos, seleccionar nuevamente el temporizador y pulsar ok, comienza un periodo de reacción de 2 minutos, en dos tubos C de reactivo TN añadir 2 ml de muestra digerida al un tubo y 2 ml de blanco al otro, seleccionar el temporizador y pulsar ok, comienza un periodo de 5 minutos, colocar el blanco llevar a cero, colocar la muestra y medir.
NITRITOS	COLORIMÉTRICO	En el espectrofotómetro DR2800 seleccionar el test 375 N Nitrito RB AV, llenar una cubeta con 10 ml de muestra, añadir el contenido de un sobre Nitriver en polvo, agitar con rotación para mezclar, se formará un color ámbar si existen nitratos, seleccionar en la pantalla el temporizador y pulsar ok, preparar el blanco con 10 ml de agua destilada, cuando suene el temporizador, colocar el blanco, pulsar cero, después colocar la muestra y medir.

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 3-3: Métodos y procedimientos empleados a nivel de laboratorio, continuación...

PARÁMETRO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO
NITRATOS	COLORIMÉTRICO	En el espectrofotómetro DR2800 seleccionar el test 355bN Nitrato RA PP, llenar una cubeta con 10 ml de muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo NitraVer 5 en polvo, agitar con rotación para mezclar, se formará un color ámbar si existe nitratos, , seleccionar en la pantalla el temporizador y pulsar ok, comienza un periodo de reacción , preparar el blanco con 10 ml de agua destilada, después colocar el blanco y llevar a cero, colocar la muestra y medir.
SÓLIDOS SEDIMENTABLES		En un cono Imhoff se colocan 1000 ml de la muestra previamente agitada, se deja reposar por aproximadamente dos horas.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	COLORIMÉTRICO	En el espectrofotómetro DR2800 seleccionar el test 630 Sólids. Suspendidos, colocar en la cubeta 10 ml de muestra normal o diluida dependiendo de la calidad del agua, preparar el blanco con agua destilada, colocar el blanco en el equipo, llevar a cero, colocar la muestra y medir.
SÓLIDOS TOTALES		Pesar una caja petri previamente tarada (vacía), agitar la muestra de agua, colocar 25 ml de muestra en la caja, someter a baño maría hasta la sequedad, introducirla en la estufa y pesarla.
SULFATOS	COLORIMÉTRICO	Seleccionar en el espectrofotómetro DR2800 el test 685 SULFATO AV, llenar la cubeta con 10 ml de muestra, añadir el reactivo Sulfaver en polvo, agitar con rotación para mezclar, en la pantalla pulsar el símbolo del temporizador, comienza un periodo de reacción, preparar el blanco con 10 ml de agua destilada, cuando suene el temporizador colocar el blanco, llevar a cero, después colocar la muestra y medir.
TENSOACTIVOS	EXTRACCIÓN/COLORIMÉTRICO	En un embudo de separación de 500 ml, añadir 300 ml de muestra normal o diluida dependiendo de la calidad de ésta. Añadir 10 ml de solución Buffer, añadir el contenido de una píldora, tapar el embudo e invertir algunas veces para homogenizar, añadir 30 ml de benceno y de la misma manera homogenizar, dejar un tiempo de extracción de 30 minutos, después remover el agua libre de disolvente, para la muestra colocar 10 ml del disolvente que quedó en el embudo en una cubeta, preparar el blanco con 10 ml de benceno en otra cubeta. Llevar al espectrofotómetro DR2800 y seleccionar el test 710 Tensoactivos, colocar el blanco y llevar a cero, después colocar la muestra y medir.

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Bayas, L. 2019

3.1.4.2 Análisis comparativo de la caracterización del agua de pozo

La caracterización del agua de pozo se realizará para poder tener una idea clara de la calidad de agua con la que se está lavando la quinua que se procesa en la COPROBICH.

Los parámetros que se han analizado fueron recomendados por parte de la empresa debido a que ya se han realizado análisis previos en ésta. Además, se analizaron algunos parámetros adicionales que se consideraron prudentes de acuerdo con revisión bibliográfica.

Tabla 4-3: Análisis comparativo de la caracterización del agua de pozo

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDICIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE/ INEN 1108
Color aparente	Unds de Pt/Co	2	15
Turbiedad	NTU	0,44	5
Conductividad	uS	566	....
Ph		7,75	6,5 - 8,5
Dureza	mg/L	320	300
Alcalinidad	mg/L	290	....
Temperatura	°C	21,3	....
Fosfatos	mg/L	0,84	0,1
Nitratos	mg/L	3,8	50
Nitritos	mg/L	0,006	3
Hierro	mg/L	0,04	0,3
Fluoruros	mg/L	0,68	1,5
Cloruros	mg/L	7,09	250
Sulfatos	mg/L	46	200
DQO	mg/L	2	....
Coliformes totales	UFC/100ml	2	....
Coliformes fecales	UFC/100ml	Ausencia	< 1 **

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Bayas, L. 2019

3.1.4.3 Análisis comparativo de la caracterización del agua residual de la planta procesadora de quinua en COPROBICH

Debido a la naturaleza con una elevada carga orgánica del agua residual y por revisión bibliográfica se han decidido tomar en cuenta los siguientes parámetros contaminantes para ser cuantificados y comparados con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua Anexo I del libro VI TULSMA, Tabla 12 (*Ver tabla 2-2*). Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Tabla 5-3: Análisis comparativo de la caracterización inicial del agua residual

PARÁMETROS	UNIDADES	CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE/TULSMA
Aceites y grasas	mg/L	9	0,3
Color real	Unds de Pt/Co	3520	Inapreciable en dilución: 1/20
Turbiedad	NTU	931	.....
Conductividad	uS	1308	.....
pH		8,3	5-9
Color aparente	Unds de Pt/Co	3520	.....
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1195	100
Temperatura	°C	19	< 35
Sólidos sedimentables	mg/L	13500	1
Sólidos totales	mg/L	4644	1600
N total	mg/L	250	15
DQO	mg/L	5000	250
DBO5	mg/L	2990	100
Coliformes fecales	UFC/100 ml	240	Remoción > al 99,9 %
Tensoactivos	mg/L	17,6	0,5

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Bayas, L. 2019

3.1.7 Tratabilidad del agua residual

3.1.7.1 Índice de biodegradabilidad

El primer paso para empezar con la tratabilidad de un agua residual es conocer el índice de biodegradabilidad de ésta. El índice de biodegradabilidad no es más que la relación entre la DBO₅ y la DQO de la muestra a tratar.

Tabla 6-3: Índice de biodegradabilidad

DBO ₅ / DQO	Biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
> 0,5	Muy biodegradable	Tratamiento biológico
0,2– 0,5	Biodegradable	Tratamiento biológico o fisicoquímico
< 0,2	Poco biodegradable	Tratamiento fisicoquímico

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

3.1.7.2 Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua residual del lavado y centrifugado de la quinua

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{2990}{5000}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = 0,6$$

3.1.7.3 Elección del tipo de tratamiento

Con ayuda del resultado del índice de biodegradabilidad, se puede observar claramente que es factible realizar un tratamiento biológico, dato muy importante ya que por parte de la empresa también se solicitó que no se añadiera ningún tipo de químico debido a una posible recirculación en el mismo proceso puesto que trabajan bajo una certificación orgánica que les permite exportar la quinua a otros países.

Según la tabla 5-3 se puede observar que los parámetros que se encuentran fuera de norma son: aceites y grasas, color real, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, sólidos totales, nitrógeno total, DBO₅, DQO y tensoactivos. Tomando en consideración esta información se procederá a establecer las etapas del tratamiento biológico a ejecutar al agua residual.

3.1.7.4 Procesos empleados a nivel de laboratorio para el tratamiento del agua residual del lavado y centrifugado de la quinua

Se muestreó 10 litros de agua residual para experimentar a nivel de laboratorio los diferentes procesos a los que puede ser sometida dicha agua y gracias a las pruebas efectuadas se han considerado los siguientes procesos físicos y biológicos para tratar el agua residual:

➤ ***Sedimentación primaria***

Debido al alto contenido de sólidos sedimentables en el agua residual, el primer proceso al que fue sometida dicha agua fue una sedimentación primaria donde se separaron los sólidos de mayor tamaño. Los tanques de sedimentación primaria bien dimensionados eliminan 50 a 70 por 100 de los sólidos finamente divididos, y entre 25 a 40 por 100 de DBO₅.

➤ ***Aireación (Reactor Biológico)***

Este proceso es de vital importancia, ya que con éste se pretende eliminar la mayor cantidad de carga orgánica del agua residual y bajar los parámetros contaminantes en una gran proporción.

Para ello se utilizó la muestra previamente sedimentada y con ayuda de una bomba y difusores se inyectó aire para mantener el agua en turbulencia favoreciendo al crecimiento microbiano que son los encargados de asimilar la materia orgánica formando flóculos, dicha aireación se la realizó durante dos días (48 horas) ya que a partir de los dos días es que se consiguió buenos resultados.

La aireación fue lenta debido a que se genera una gran cantidad de espuma por la presencia de tensoactivos (*Ver ANEXO C*).

➤ ***Sedimentación Secundaria***

Una vez culminada la aireación de la muestra de agua residual se procedió a realizar una nueva sedimentación por gravedad para que la materia orgánica acumulada pueda precipitar. las partículas aglomerables (materia orgánica que logra flocularse o hacerse grumos), se sedimenta cuando ganan el peso y se precipitan a la velocidad creciente en el tiempo; de esta manera

➤ ***Filtración***

Finalmente, para alcanzar los límites establecidos por la normativa vigente se realizó una filtración para bajar aún más la carga orgánica aún presente en el agua aireada.

El filtro que se utilizó para la última etapa de tratamiento fue un filtro compuesto por antracita (*Ver ANEXO C*).

3.1.7.5 Esquema Conceptual de los procesos utilizados para el tratamiento de agua residual

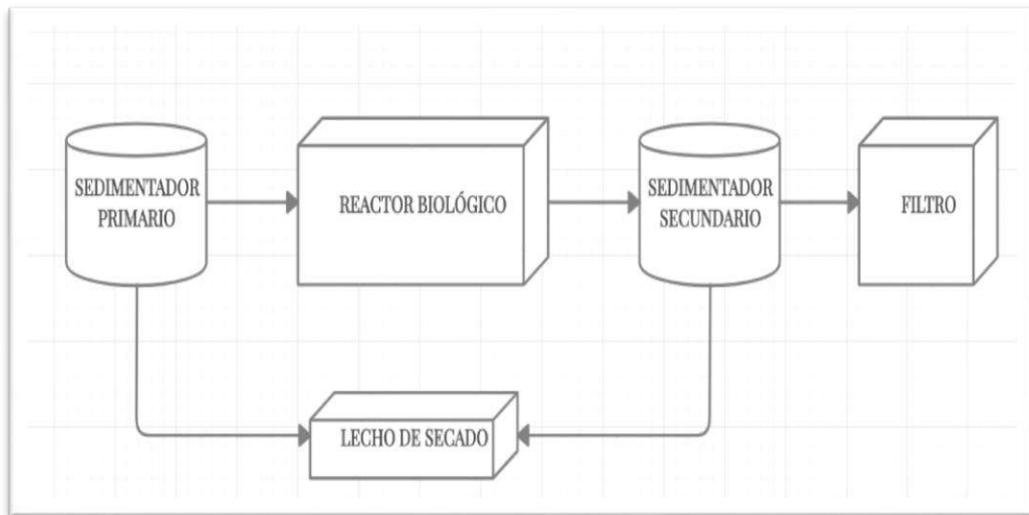


Figura 1-3: Procesos a dimensionar para el tratamiento del agua residual

Realizado por: Bayas, L.2019

3.1.8 Determinación experimental del caudal de diseño

Las mediciones del caudal de las aguas residuales se realizaron en la zona de descarga que se encuentra fuera de la planta procesadora de quinua.

Para una menor variación de resultados se decidió tomar bastantes mediciones de volúmenes en diferentes tiempos a lo largo de una parada día de producción. Todo esto con ayuda de un valde volumétrico y un cronómetro.

En la mayor parte del tiempo, aunque se puedan alcanzar a procesar hasta 8 paradas al día, se procesan solo cuatro paradas al día debido a la limitación en operadores, mismos que se encargan de escarificar, lavar, centrifugar, secar, clasificar y empacar la quinua a lo largo de toda su jornada de trabajo y no alcanzarían a hacerlo todo si es que solo se dedicaran a lavar la quinua todo el día, por esta razón solo lo hacen hasta el mediodía. Por cada parada escarificada de quinua se realiza el lavado y centrifugado de ocho quintales de quinua en aproximadamente 15 minutos, entonces se decidió medir el caudal cada minuto del lavado y centrifugado, ya que a lo largo de estos dos procesos el caudal va aumentando progresivamente y no se mantiene constante por mucho tiempo.

Tabla 7-3: Mediciones de caudal en la primera parada (Día 1)

MUESTRA	HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)
1	9:10	0,75	1,41	0,53
2	9:11	1,15	1,91	0,60
3	9::12	1,35	2,11	0,64
4	9:13	1,88	2,68	0,70
5	9:14	1,3	1,57	0,83
6	9:15	1,4	1,56	0,90
7	9:16	1,2	1	1,20
8	9::17	1,88	2,67	0,70
9	9:18	3,8	1,89	2,01
10	9:19	4,8	1,91	2,51
11	9:20	5,2	1,44	3,61
12	9:21	5,8	1,55	3,74
13	9::22	5	1,23	4,07
14	9:23	5,5	1	5,50
15	9:24	6	1	6,00
CAUDAL PROMEDIO				2,24

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 8-3: Mediciones de caudal en la segunda parada (Día 2)

MUESTRA	HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)
1	10:16	0,69	1,3	0,53
2	10:17	1	1,6	0,63
3	10::18	1,4	2	0,70
4	10:19	1,7	2,3	0,74
5	10:20	1,2	1,6	0,75
6	10:21	1,6	2,1	0,76
7	10:22	1,2	1,4	0,86
8	10::23	1,90	1,8	1,06
9	10:24	3,2	1,3	2,46
10	10:25	4,5	1,6	2,81
11	10:26	5	1,72	2,91
12	10:27	5,5	1,45	3,79
13	10::28	5,7	1,3	4,38
14	10:29	5,9	1	5,90
15	10:30	6,3	1	6,30
CAUDAL PROMEDIO				2,31

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 9-3: Mediciones de caudal en la tercera parada (Día 3)

MUESTRA	HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)
1	11:00	0,59	1,1	0,54
2	11:01	1,2	1,95	0,62
3	11:02	1,8	2,5	0,72
4	11:03	1,5	2,05	0,73
5	11:04	1,9	2,56	0,74
6	11:05	1,1	1,33	0,83
7	11:06	1,8	2,05	0,88
8	11:07	1,30	1,22	1,07
9	11:08	3,2	1,32	2,42
10	11:09	4,5	1,71	2,63
11	11:10	5,1	1,77	2,88
12	11:11	5,2	1,22	4,26
13	11:12	5,5	1,12	4,91
14	11:13	5,8	1,13	5,13
15	11:14	6	0,99	6,06
CAUDAL PROMEDIO				2,29

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 10-3: Mediciones de caudal en la cuarta parada (Día 4)

MUESTRA	HORA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)
1	12:22	0,8	1,39	0,58
2	12:23	1,5	2,39	0,63
3	12:24	1,1	1,71	0,64
4	12:25	1,9	2,11	0,90
5	12:26	1,2	1,33	0,90
6	12:27	1,1	1,12	0,98
7	12:28	1,5	1,5	1,00
8	12:29	1,50	1,22	1,23
9	12:30	3	1,32	2,27
10	12:31	4,1	1,51	2,72
11	12:32	4,5	1,44	3,13
12	12:33	5,2	1,25	4,16
13	12:34	5	0,99	5,05
14	12:35	5,8	1,13	5,13
15	12:36	6	0,99	6,06
CAUDAL PROMEDIO				2,36

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tomando en cuenta los caudales promedios obtenidos de las cuatro paradas, se realizará un nuevo promedio para obtener el caudal definitivo del agua residual procedente del proceso de lavado y centrifugado de la quinua en la COPROBICH.

Tabla 11-3: Caudal promedio total del agua residual de la COPROBICH

PARADA	CAUDAL PROMEDIO (L/s)
1	2,24
2	2,31
3	2,29
4	2,36
CAUDAL PROMEDIO TOTAL	2,30

Realizado por: Bayas, L. 2019

3.1.9 Cálculos de ingeniería para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual

3.2.5.1 Caudal de diseño

➤ Caudal experimental

$$Q = \frac{V}{t}$$

(1)

Donde:

Q: Caudal experimental; $\frac{L}{s}$

V: Volumen; 2,30 L (Tabla 11-3)

t: Tiempo; 1s (Tabla 11-3)

$$Q = \frac{2,30}{1}$$

$$Q = 2,30 \frac{L}{s}$$

➤ Caudal proyectado

Generalmente, para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales se debe tomar en cuenta un factor de mayoración, el cual disminuye cuando aumenta el número de habitantes. En este caso se tomará en cuenta el promedio del aumento de la producción de los últimos cinco años ya que entre año y año no siempre ha aumentado, sino que también ha disminuido la producción por parte de la empresa como se lo puede observar en el siguiente gráfico.



Gráfico 1-3: Ventas totales de la empresa COPROBICH

Realizado por: Bayas, L.2019

Según la técnica encargada de la COPROBICH, se tiene en promedio un aumento del 15% en la producción desde el 2014 hasta la actualidad. Como se pretende que la planta de tratamiento tenga un diseño que servirá para unos 20 años, entonces el porcentaje de mayoración de caudal será del 60 %.

$$Q_P = Q * F_M \quad (2)$$

Donde:

Q_P: Caudal proyectado; $\frac{L}{s}$

Q: Caudal experimental; $2,30 \frac{L}{s}$

F_M: Factor de mayoración; 0,60

$$Q_P = 2,30 \frac{L}{s} * 0,60$$

$$Q_P = 1,38 \frac{L}{s}$$

➤ Caudal de diseño

$$Q_d = Q_e + Q_P$$

(3)

Donde:

Q_d: Caudal de diseño; $\frac{L}{s}$

Q_e: Caudal experimental; $2,30 \frac{L}{s}$

Q_P: Caudal proyectado; $1,38 \frac{L}{s}$

$$Q_d = 2,30 \frac{L}{s} + 1,38 \frac{L}{s}$$

$$Q_d = 3,68 \frac{L}{s}$$

$$Q_d = 0,00368 \frac{m^3}{s}$$

➤ Caudal de diseño real

Para el diseño de las dimensiones tanto del sedimentador primario y secundario, como del reactor biológico y del filtro se necesita calcular cuánto volumen diario de agua residual se está generando en la planta, pero al ser un proceso discontinuo es necesario determinar el caudal diario con ayuda del caudal de diseño antes calculado ($0,00368 \frac{m^3}{s}$) y el tiempo en el que dicho caudal es desechado. En este caso, como se realizan 8 paradas diarias en la planta y cada una tiene una duración de 15 minutos, dándonos un total de 120 minutos que transformados a segundos nos da un valor de 7200. Entonces se tiene el siguiente cálculo para obtener el volumen diario de agua residual desechada:

$$0,00368 \frac{m^3}{s} * 7200 s = 26,50 m^3 \text{ (Volumen real de agua residual por día de producción)}$$

$$26,50 \frac{m^3}{\text{día}} = 1,104 \frac{m^3}{h} = 0,000307 \frac{m^3}{s}$$

Para evitar errores en el dimensionamiento del canal de entrada se tomará el primer caudal de diseño por segundo calculado anteriormente ya que el que se obtiene después es un valor muy pequeño.

3.2.5.2 Canal de entrada

Para los cálculos del diseño del canal de entrada se necesita información como la altura de tirante normal y el ancho de espejo de agua y para ello se tomarán datos obtenidos del programa *Hcanales*, en el cual con ayuda del caudal de diseño que es $0,00368 \frac{m^3}{s}$, el ancho de la solera que fue propuesto en base al diámetro de la tubería de descarga que es $0,20 m$, el coeficiente de rugosidad que se toma en base a la **Tabla 12-3** y es de $0,015$ para concreto con cimbra de madera y la pendiente sugerida para esta construcción que es de $0,0005$. Este último valor se toma en consideración debido a que, en las zonas muy llanas, que es el caso de la ubicación de la planta, se debe tomar en cuenta una pendiente nula o a su vez una pendiente máxima del $0,05\%$.

Tabla 12-3: Coeficiente de Manning para canales revestidos

Material	Coeficiente de Manning (n)
Ladrillos de mortero de cemento	0,020
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013
Ladrillos, paredes rugosas	0,015
Membrana de plástico sumergida	0,027
Tablas, bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011
Tablas, bastante derechas y sin vegetación	0,013
Tablas con crecimiento de algas/musgos	0,015

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

Los resultados que se obtuvieron en el software fueron los siguientes:

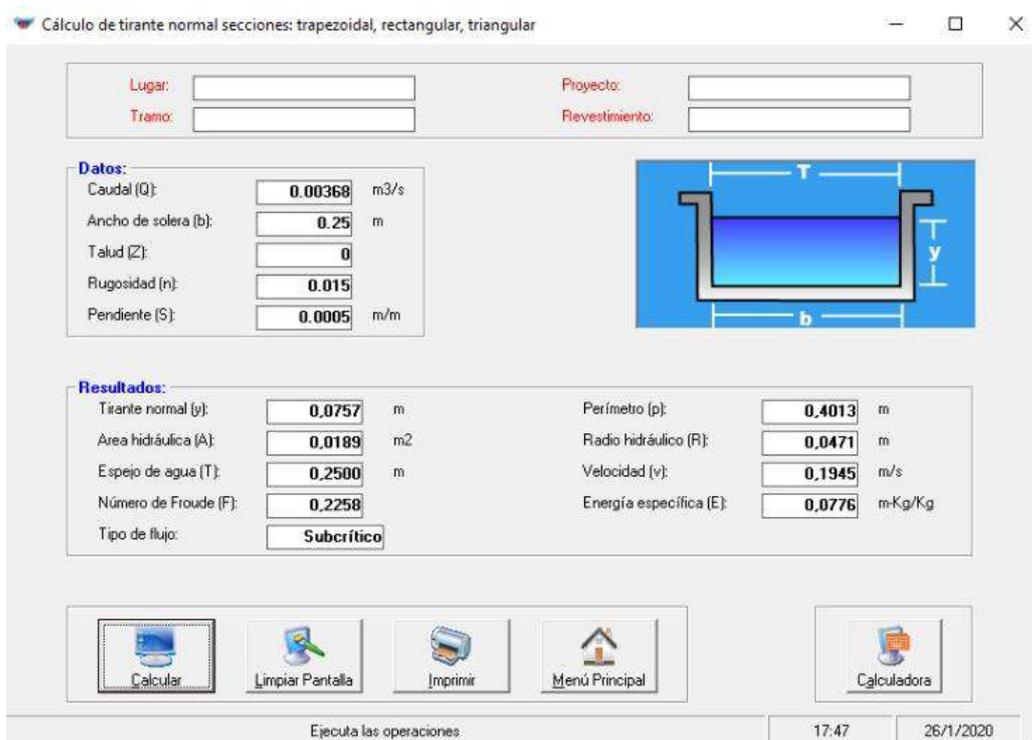


Figura 2-3: Resultados obtenidos en el software *Hcanales*

Realizado por: Bayas, L. 2019

Los valores de altura de tirante normal y ancho de espejo de agua para el canal de entrada son **0,0757 m** y **0,2500 m** respectivamente. Por defecto, el software *Hcanales* calcula la mayoría de los valores para el diseño del canal que se irá corroborando a continuación:

➤ Radio hidráulico

$$R_H = \frac{b * h}{b + 2h}$$

(4)

Donde:

R_H: Radio hidráulico; m

b: Ancho de espejo de agua; 0,2500 m

h: Altura de tirante normal; 0,0757 m

$$R_H = \frac{0,2500m * 0,0757m}{0,2500m + 2(0,0757m)}$$

$$R_H = 0,0471 \text{ m}$$

➤ Velocidad de flujo en el canal

$$v = \frac{1}{n} R_H^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

(5)

Donde:

v: Velocidad de flujo en el canal; $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

n: Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,015 (Tabla 12-3)

R_H: Radio hidráulico; 0,0471 m

S: Pendiente de fondo; $0,0005 \frac{\text{m}}{\text{m}}$

$$v = \frac{1}{0,015} (0,0471\text{m})^{\frac{2}{3}} (0,0005 \frac{\text{m}}{\text{m}})^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 0,194 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

➤ Área de la sección transversal del canal

$$A_{SC} = \frac{Q_d}{v}$$

(6)

Donde:

A_{SC}: Área de la sección transversal del canal; m²

Q_d: Caudal de diseño; $0,00368 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

v: Velocidad de flujo en el canal; $0,194 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$A_{SC} = \frac{0,00368 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,194 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_{SC} = 0,0189 \text{ m}^2$$

➤ Altura total del canal:

$$H_{TC} = h + h_s$$

(7)

Donde:

H_{TC} = Altura total del canal; m

h : Altura de tirante normal; 0,0757 m

h_s = Altura de seguridad; 0,15 m

$$H_{TC} = 0,0757 \text{ m} + 0,15 \text{ m}$$

$$H_{TC} = 0,2257 \text{ m}$$

3.2.5.3 Sedimentador primario circular

➤ Área del sedimentador

Para calcular el área del sedimentador se tomará en cuenta la siguiente información:

Tabla 13-3: Información típica para diseño de tanques de sedimentación primaria

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario		
Tiempo de retención, h	1,5 - 2,5	2
Carga de superficie, m ³ /m ² *día		
A caudal medio	30 - 50	40
A caudal punta	80 - 120	100
Carga sobre vertedero, m³/m*día	125 - 500	250
Sedimentación primaria con adición de lodo activado en exceso		
Tiempo de retención, h	1,5 - 2,5	2
Carga de superficie, m ³ /m ² *día		
A caudal medio	24 - 32	28
A caudal punta	48 - 70	60
Carga sobre vertedero, m³/m*día	125 - 500	250

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 14-3: Información usual para diseño de tanques de sedimentación primaria rectangulares y circulares

PARÁMETRO	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
Rectangular			
Profundidad	M	3 - 4,5	3,6
Longitud	M	15 - 90	25 - 40
Ancho*	M	3 - 25	5 - 10
Velocidad del barredor	m/s	0,6 - 1,2	0,9
Circular			
Profundidad	M	3 - 4,5	3,6
Longitud	M	3 - 60	12 - 45
Pendiente de la solera	mm/m	6,25 - 16	8
Velocidad de los rascadores	r/min	0,02 - 0,05	0,03

Fuente: (Metcalf & Eddy 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

- Área superficial del sedimentador

$$A_S = \frac{Q_d}{C_s}$$

(8)

Donde:

A_S: Área superficial del sedimentador, m²

Q_d: Caudal de diseño, 26,50 $\frac{m^3}{día}$

C_s: Carga superficial; 16 $\frac{m^3}{m^2 * día}$ (Tabla 14-3, se toma una carga menor por la gran cantidad de sólidos sedimentables y para un dimensionamiento más adecuado)

$$A_S = \frac{26,50 \frac{m^3}{día}}{16 \frac{m^3}{m^2 * día}}$$

$$A_S = 1,66 m^2$$

➤ Volumen del sedimentador

$$V = A * h$$

(9)

Donde:

V: Volumen del sedimentador; m³

A_S: Área superficial del sedimentador; 1,66 m²

h: Altura = profundidad; 2 m (1,5 -2,5 establecido por el SENAGUA)

$$V = 1,66 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V = 3,32 \text{ m}^3$$

➤ Diámetro del sedimentador

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{A_S}{\pi}}$$

(10)

Donde:

∅: Diámetro del sedimentador; m

A_S: Área superficial del sedimentador; 0,8 m²

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{1,66 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\varnothing = 1,45 \text{ m} \cong 1,5 \text{ m}$$

- Radio del sedimentador

$$r = \frac{\phi}{2}$$

(11)

Donde:

r: Radio del sedimentador; m

ϕ: Diámetro del sedimentador; 1,5 m

$$r = \frac{1,5\text{m}}{2}$$

$$r = 0,75 \text{ m}$$

- Tiempo de retención hidráulica

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_d}$$

(12)

Donde:

T_{rh}: Tiempo de retención hidráulica; h

V: Volumen del sedimentador; 3,32m³

Q_d: Caudal de diseño, 1,104 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$$T_{rh} = \frac{3,32 \text{ m}^3}{1,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$T_{rh} = 3,01 \text{ h} \cong 3 \text{ h}$$

- Porcentaje de remoción de DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días) Y SST (Sólidos suspendidos totales):

Para el cálculo del porcentaje de remoción de DBO₅ y SST se necesita la siguiente información:

Tabla 15-3: Constantes empíricas a 20 °C

VARIABLE	a (h)	b
DBO₅	0,018	0,02
SST	0,0075	0,014

Fuente: (Crites, 2000)

Realizado por: Bayas, L. 2019

$$\%R_{\text{DBO}_5} = \frac{T_{\text{rh}}}{a + bT_{\text{rh}}}$$

(13)

Donde:

%R_{DBO₅}: Porcentaje de remoción de DBO₅; %

T_{rh}: Tiempo de retención hidráulica; 3,01h

a, b: Constantes empíricas; 0,018 h y 0,02, respectivamente (Tabla 15-3)

$$\%R_{\text{DBO}_5} = \frac{3,01 \text{ h}}{0,018 \text{ h} + 0,02(3,01 \text{ h})}$$
$$\%R_{\text{DBO}_5} = 38,50 \%$$

$$\%R_{\text{SST}} = \frac{T_{\text{rh}}}{a + bT_{\text{rh}}}$$

(14)

Donde:

%R_{SST}: Porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos totales; %

T_{rh}: Tiempo de retención hidráulica; 3,01 h

a, b: Constantes empíricas; 0,0075 h y 0,014, respectivamente (Tabla 15-3)

$$\%R_{\text{SST}} = \frac{3,01 \text{ h}}{0,0075 \text{ h} + 0,014(3,01 \text{ h})}$$

$$\%R_{SST} = 60,64 \%$$

3.2.5.4 Aireador (Reactor biológico)

Para el diseño del reactor biológico se necesitará la siguiente información:

Tabla 16-3: Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

COEFICIENTE	UNIDADES PARA SSV	RANGOS	TÍPICO
Y	mg SSV/ mg DBO5	0,4 - 0,8	0,6
Kd	d ⁻¹	0,025 - 0,075	0,06
K	mg/L DBO5	25-100	60

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 17-3: Parámetros de diseño para el proceso de lodos activados

MODIFICACIÓN DEL PROCESO	θ_c , d	F/M, Kg DBO5/Kg SSVLMd	CARGA VOLUMÉTRICA, Kg DBO5 aplicada /m3 d	SSML, mg/L	V/Q, h	Qr/Q
Convencional	5,0-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5,0-15	0,2-0,4	0,80-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1
Aireación prolongada	20-30	0,005-0,15	0,16-0,40	3000-6000	18-36	0,5-1,5

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Volumen del reactor

$$V = \frac{\theta_c * Q_d * Y * (S_o - S)}{X(1 + k_d \theta_c)} \quad (15)$$

Donde:

V: Volumen del reactor; m

θ_c : Tiempo medio de retención celular; 2 días (Pruebas de tratabilidad)

Q_d : Caudal de diseño, 26,50 $\frac{m^3}{día}$

Y: Coeficiente de producción celular; 0,4 kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada (Tabla 16-3)

S_o : Concentración de DBO en el afluente; 2,99 $\frac{Kg}{m^3}$ (Tabla 5-3)

S: Concentración de DBO en el efluente; 0,5 $\frac{Kg}{m^3}$ (Pruebas de tratabilidad)

X: Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación; 4 $\frac{Kg}{m^3}$ (Tabla 17-3)

k_g: Coeficiente de degradación endógena; 0,06 día⁻¹(Tabla 16-3)

$$V = \frac{2 \text{ días} * 26,50 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0,4 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} * (2,99 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} - 0,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}{4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (1 + 0,06 \text{día}^{-1} * 2 \text{ días})}$$

$$V = 11,78 \text{ m}^3 \cong 12 \text{ m}^3$$

➤ Dimensionamiento del tanque aireador

Con ayuda del volumen se procede a dimensionar el tanque de aireación que será rectangular y tendrá, por especificaciones técnicas de los difusores a utilizar, 2 metros de profundidad (altura a la capacidad de los difusores que va hasta los 5 metros) y por consecuencia 3 metros de largo y 2 metros de ancho para construcción.

➤ Área superficial del tanque aireador

$$A_s = \frac{V}{h}$$

(16)

Donde:

A_s: Área superficial del tanque aireador; m²

V: Volumen del tanque aireador; 11,78 m³

h: Altura = profundidad; 2 m (Dentro de la máxima capacidad de aireación de los difusores a utilizar)

$$A_s = \frac{11,78 \text{ m}^3}{2 \text{ m}}$$

$$A_s = 5,89 \text{ m}^2 \cong 6 \text{ m}^2$$

➤ Eficiencia del aireador

$$E_a = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

(17)

Donde:

E_a : Eficiencia del aireador, %

S_0 : Concentración de DBO en el afluente; $2,99 \frac{Kg}{m^3}$ (Tabla 5-3)

S : Concentración de DBO en el efluente; $0,5 \frac{Kg}{m^3}$ (Pruebas de tratabilidad)

$$E_a = \frac{2,99 \frac{Kg}{m^3} - 0,5 \frac{Kg}{m^3}}{2,99 \frac{Kg}{m^3}} * 100$$

$$E_a = 83,28\%$$

➤ Tiempo de retención hidráulica

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_d}$$

(18)

Donde:

T_{rh} : Tiempo de retención hidráulica; h

V : Volumen del tanque aireador; $11,78 m^3$

Q_d : Caudal de diseño, $1,104 \frac{m^3}{h}$

$$T_{rh} = \frac{11,78 m^3}{1,104 \frac{m^3}{h}}$$

$$T_{rh} = 10,67 h \cong 11 h$$

➤ Relación alimento / organismo

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\phi_c * X}$$

(19)

Donde:

$\frac{F}{M}$: Relación alimento / organismo; día⁻¹

S_0 : Concentración de DBO en el afluente; 2,99 $\frac{Kg}{m^3}$ (Tabla 5-3)

ϕ_c : Tiempo medio de retención celular; 2 días (Pruebas de tratabilidad)

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación; 4 $\frac{Kg}{m^3}$ (Tabla 17-3)

$$\frac{F}{M} = \frac{2,99 \frac{Kg}{m^3}}{2 \text{ día} * 4 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$\frac{F}{M} = 0,37 \text{ día}^{-1}$$

Lo que significa una recirculación de lodos (Valor mayor a 0,15; necesita recirculación de lodos según Metcalf & Eddy, 1995).

➤ Caudal de aire en función de DBO

$$Q_{\text{aire}} = \frac{\text{mg DBO}_5}{L} * \frac{1 \text{ KgDBO}_5}{1 * 10^6 \text{ mgDBO}_5} * \frac{1000 L}{1 \text{ m}^3} * \frac{Q_d \text{ m}^3}{\text{día}} * \frac{154 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1 \text{ KgDBO}_5} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

(20)

Reemplazando tenemos:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{2990 \text{ mg DBO}_5}{L} * \frac{1 \text{ KgDBO}_5}{1 * 10^6 \text{ mgDBO}_5} * \frac{1000 L}{1 \text{ m}^3} * \frac{26,50 \text{ m}^3}{\text{día}} * \frac{154 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1 \text{ KgDBO}_5} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 508,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 8,47 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Cantidad de difusores a emplear

Tabla 18-3: Ficha técnica de difusor de burbuja fina

MODELO	MATERIAL	DIÁMETRO	CONECTOR DE ENTRADA DE AIRE	FLUJO DE AIRE
AFD 350	Membrana: EPDM/Silicón	12"	NPT 3/4 /QCS	Mejor funcionamiento continuo: 2,5-8,3 m ³ /h Máxima sobrecarga: 11 m ³ /h

Fuente: RDE ING S. A.

Realizado por: Bayas, L. 2019

- Número de difusores necesarios

$$N_{\text{dif.}} = \frac{Q_{\text{aire necesario}}}{Q_{\text{aire dif.}}} \quad (21)$$

Donde:

$N_{\text{dif.}}$: Número de difusores necesario; adimensional

$Q_{\text{aire necesario}}$: Caudal de aire necesario en función de la DBO; $508,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$Q_{\text{aire dif.}}$: Caudal o flujo de aire del difusor a emplear; $11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ (Tabla 18-3)

$$N_{\text{dif.}} = \frac{508,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$N_{\text{dif.}} = 46,22 \cong 46$$

3.2.5.5 Sedimentador secundario circular

- Área superficial del sedimentador

Para el cálculo de las dimensiones del sedimentador secundario se necesita la siguiente información.

Tabla 19-3: Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios

TIPO DE TRATAMIENTO	CARGA DE SUPERFICIE, m ³ /m ² d		CARGA DE SÓLIDOS, Kg/m ² h		PROFUNDIDAD, m
	MEDIA	PUNTA	MEDIA	PUNTA	
Sedimentación a continuación de un proceso de fangos activados a excepción de una aireación prolongada	16-32	41-49	3,90-5,85	9,76	3,6-6
Sedimentación a continuación de un proceso de fangos activados con oxígeno	16-32	41-49	4,88-6,83	9,76	3,5-6
Sedimentación a continuación de un proceso de aireación prolongada	8-16	24,42-32	0,97-4,88	6,83	3,6-6
Sedimentación a continuación de filtros percoladores	16-24	41-49	2,93-4,88	7,81	3-4,5
Sedimentación a partir de biodiscos: Efluente secundario Efluente nitrificado	16-32	41-49	3,90-5,85	9,76	3-4,5
	16-24	32-41	2,93-4,88	7,81	3-4,5

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

$$A_s = \frac{Q_d}{C_s}$$

(22)

Donde:

A_s: Área superficial del sedimentador, m²

Q_d: Caudal de diseño, 26,50 $\frac{m^3}{día}$

C_s: Carga superficial; 8 $\frac{m^3}{m^2*día}$ (Tabla 19-3, se utiliza el de una aireación prolongada debido a la alta concentración de sólidos sedimentables)

$$A_S = \frac{26,50 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{8 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}}$$

$$A_S = 3,31 \text{ m}^2$$

➤ Volumen del sedimentador

$$V = A * h$$

(23)

Donde:

V: Volumen del sedimentador; m³

A_S: Área superficial del sedimentador; 3,31 m²

h: Altura = profundidad; 2m (1,5-2,5 establecido por SENAGUA)

$$V = 3,31 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V = 6,62 \text{ m}^3$$

➤ Diámetro del sedimentador

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{A_S}{\pi}}$$

(24)

Donde:

∅: Diámetro del sedimentador; m

A_S: Área superficial del sedimentador; 3,31 m²

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{3,31 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\varnothing = 2,1 \text{ m}$$

➤ Radio del sedimentador

$$r = \frac{\varnothing}{2}$$

(25)

Donde:

r: Radio del sedimentador; m

Ø: Diámetro del sedimentador; 2,1 m

$$r = \frac{2,1 \text{ m}}{2}$$

$$r = 1,05 \text{ m}$$

➤ Tiempo de retención hidráulica

$$T_{rh} = \frac{V}{Q_d}$$

(26)

Donde:

T_{rh}: Tiempo de retención hidráulica; h

V: Volumen del sedimentador; 6,62 m³

Q_d: Caudal de diseño, 1,104 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$$T_{rh} = \frac{6,62 \text{ m}^3}{1,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$T_{rh} = 5,99 \text{ h} \cong 6 \text{ h}$$

➤ Porcentaje de remoción de DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días) Y SST (Sólidos suspendidos totales):

$$\%R_{\text{DBO}_5} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

(27)

Donde:

%R_{DBO₅}: Porcentaje de remoción de DBO₅; %

T_{rh}: Tiempo de retención hidráulica; 5,99 h

a, b: Constantes empíricas; 0,018 h y 0,02, respectivamente (Tabla 15-3)

$$\%R_{DBO_5} = \frac{5,99 \text{ h}}{0,018 \text{ h} + 0,02(5,99 \text{ h})}$$

$$\%R_{DBO_5} = 43,47 \%$$

$$\%R_{SST} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

(28)

Donde:

$\%R_{SST}$: Porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos totales; %

T_{rh} : Tiempo de retención hidráulica; 5,99 h

a, b: Constantes empíricas; 0,0075 h y 0,014, respectivamente (Tabla 15-3)

$$\%R_{SST} = \frac{5,99 \text{ h}}{0,0075 \text{ h} + 0,014(5,99 \text{ h})}$$

$$\%R_{SST} = 65,56 \%$$

3.2.5.6 Filtro

Para el diseño del filtro se requiere la siguiente información:

Tabla 20-3: Parámetros para el diseño de filtros con un solo medio filtrante

CARACTERÍSTICA	INTERVALO	TÍPICO
Lecho poco profundo (estratificado) Antracita:		
Profundidad, cm	30-75	40
Tamaño efectivo, mm	0,8-1,5	1,3
Coefficiente de uniformidad	1,3-1,8	1,6
Velocidad de filtración, m/h	4,88-14,66	7,33
Convencional (estratificado) Antracita:		
Profundidad, cm	60-90	75
Tamaño efectivo, mm	0,8-2,0	1,3
Coefficiente de uniformidad	1,3-1,8	1,6
Velocidad de filtración, m/h	4,88-19,54	9,77
Lecho profundo (no estratificado) Antracita:		
Profundidad, cm	90-210	150
Tamaño efectivo, mm	2-4	2,75
Coefficiente de uniformidad	1,3-1,8	1,6
Velocidad de filtración, m/h	4,88-24,43	12,21
Lecho-orificios		
Diámetro de los orificios de los laterales, mm	2-4	2
Velocidad en el orificio, m/s		0,3
Velocidad de entrada, m/s	0,15-3	0,6
Velocidad de salida, m/s	0,4-0,9	0,7
Tiempo de lavado, min	5-15	8

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Área superficial del filtro

$$A_s = \frac{Q_d}{V_f} \quad (29)$$

Donde:

A_s : Área superficial del filtro; m²

Q_d : Caudal de diseño; 1,104 $\frac{m^3}{h}$

V_f : Velocidad de filtración; 4,88 $\frac{m}{h}$ (Tabla 20-3)

$$A_s = \frac{1,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{4,88 \frac{\text{m}}{\text{h}}}$$

$$A_s = 0,23 \text{ m}^2$$

➤ Coeficiente de mínimo costo

$$K = \frac{2 * N}{N + 1}$$

(30)

Donde:

K: Coeficiente de mínimo costo, adimensional

N: Número de unidades, adimensional (mínimo 3 unidades para velocidades mayores a $0,2 \frac{\text{m}}{\text{h}}$)

$$K = \frac{2 * 3}{3 + 1}$$

$$K = 1,5$$

➤ Largo del filtro

$$L = (A * K)^{\frac{1}{2}}$$

(31)

Donde:

L: Largo del filtro, m

A: Área del filtro, $0,23 \text{ m}^2$

K: Coeficiente de mínimo costo, 1,5

$$L = (0,23 \text{ m}^2 * 1,5)^{\frac{1}{2}}$$

$$L = 0,59 \text{ m}$$

➤ Ancho del filtro

$$A_n = \left(\frac{A_s}{K}\right)^{\frac{1}{2}}$$

(32)

Donde:

A_n: Ancho del filtro: m

A_s: Área superficial del filtro; 0,23 m²

K: Coeficiente de mínimo costo, 1,5

$$A_n = \left(\frac{0,23 \text{ m}^2}{1,5}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$A_n = 0,39 \text{ m}$$

➤ Volumen del filtro

$$V = L * A_n * h$$

(33)

Donde:

V: Volumen del filtro, m³

L: Largo del filtro, 0,59 m

A_n: Ancho del filtro; 0,39 m

h: Altura = profundidad; 1,5 m (Tabla 20-3)

$$V = 0,59 \text{ m} * 0,39 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$$

$$V = 0,35 \text{ m}^3$$

➤ Tiempo de retención hidráulica

$$T_{RH} = \frac{V}{Q_d}$$

(34)

Donde:

T_{RH} : Tiempo de retención hidráulica, h

V : Volumen del filtro, $0,35 \text{ m}^3$

Q_d : Caudal de diseño; $1,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$$T_{RH} = \frac{0,35 \text{m}^3}{1,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$T_{RH} = 0,32 \text{ h}$$

$$T_{RH} = 19 \text{ min}$$

3.2.5.7 Lecho de secado

Para el diseño del lecho de secado se necesita la siguiente información:

Tabla 21-3: Características de lodos

PROCESO	PARÁMETROS	VALOR
Lodos activados	Porcentaje de humedad, %	90-93
	Densidad relativa, Kg/L	1,03-1,05

Fuente: (Metcalf & Eddy 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

Tabla 22-3: Criterios de diseño para eras de secado

PARÁMETROS	UNIDAD	RANGO
Ancho	m	3,0-6
Longitud	m	4,0-8
Capa de arena (espesor)	mm	200-300
Capa de fango (espesor)	mm	200-300
Capa de grava (espesor)	mm	51-200
Profundidad total útil	mm	400-600
Tamaño grano de arena	mm	0,30-0,75

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Masa de volumen de secado

Para calcular la masa total de lodos que se produce diariamente se debe sumar la producción de lodos tanto en el sedimentador primario como en el sedimentador secundario.

En el caso del sedimentador primario se lo realizará con ayuda del valor de sólidos sedimentables que es de $13,5 \frac{g}{L}$ (En dos horas de sedimentación) y del caudal de diseño que es de $0,31 \frac{L}{s}$.

Entonces tenemos que:

$$13,5 \frac{g}{L} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 0,31 \frac{L}{s} = 0,004185 \frac{\text{Kg}}{s} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 180,79 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Para la masa total de lodos por día en el sedimentador secundario se tomará el valor calculado de sólidos sedimentables también:

$$23,8 \frac{g}{L} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 0,31 \frac{L}{s} = 0,007378 \frac{\text{Kg}}{s} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 318,72 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{318,72 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{2} = 159,36 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \text{ (Asumiendo que el 50 \% de lodos se recirculará)}$$

➤ Entonces la masa total de sólidos por día será

$$m_{Tsd} = m_{sd}(\text{Sedimentador primario}) + m_{sd}(\text{Sedimentador secundario}) \quad (35)$$

$$m_{Tsd} = 180,79 \text{ Kg} + 159,36 \text{ Kg}$$

$$m_{Tsd} = 340,15 \text{ Kg}$$

➤ Volumen diario de lodos digeridos

$$V_{LD} = \frac{m_{Tsd}}{\rho * \% \text{ sólidos}} \quad (36)$$

Donde:

V_{LD} : Volumen diario de lodos digeridos; $\frac{m^3}{\text{día}}$

m_{Tsd} : Masa total de sólidos por día; $340,15 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$

ρ : Densidad de lodo; $1040 \frac{\text{Kg}}{m^3}$ (Tabla 21-3)

$\% \text{ sólidos}$: Porcentaje de sólidos secos; 60% (Valor obtenido de las pruebas de tratabilidad)

$$V_{LD} = \frac{340,15 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{1044 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 60\%}$$

$$V_{LD} = 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

➤ Volumen de lodos:

$$V_L = V_{LD} * T_{LD}$$

(37)

Donde:

V_L : Volumen de lodos; m^3

V_{LD} : Volumen diario de lodos digeridos; $0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

T_{LD} : Tiempo necesario para digerir los lodos; 15 día (Tiempo sugerido por Metcalf & Eddy)

$$V_L = 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 15 \text{ día}$$

$$V_L = 8,1 \text{ m}^3$$

➤ Área del lecho de secado:

$$A_{LS} = \frac{V_L}{h_L}$$

(38)

Donde:

A_{LS} : Área del lecho de secado; m^2

V_L : Volumen de lodos; $8,1 \text{ m}^3$

h_L : Altura del lecho de secado; $0,6 \text{ m}$

$$A_{LS} = \frac{8,1 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 13,5 \text{ m}^2$$

➤ Número de lechos de secado:

$$N_{LS} = \frac{A_{LS}}{x * y}$$

(39)

Donde:

N_{LS} : Número de lechos de secado; adimensional

A_{LS} : Área del lecho de secado; 13,5 m²

x : Largo del lecho; 4 m (Tabla 22-3)

y : Ancho del lecho; 3 m (Tabla 22-3)

$$N_{LS} = \frac{13,5 \text{ m}^2}{4 \text{ m} * 3 \text{ m}}$$

$$N_{LS} = 1,13 \cong 1$$

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados de la caracterización del agua de pozo

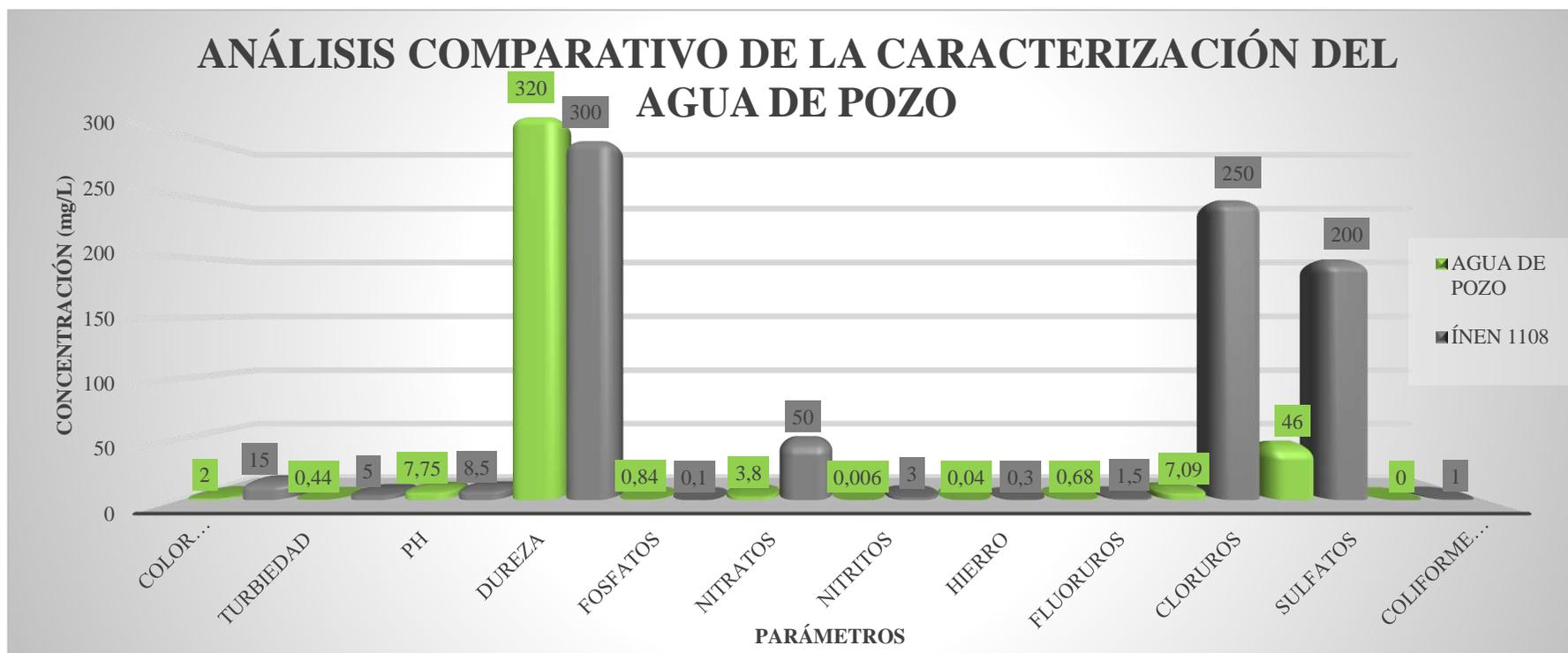


Gráfico 1-4: Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua de pozo con la normativa ÍNEN 1108

Realizado por: Bayas, L.2019

4.1.2 Resultados de la caracterización del agua residual

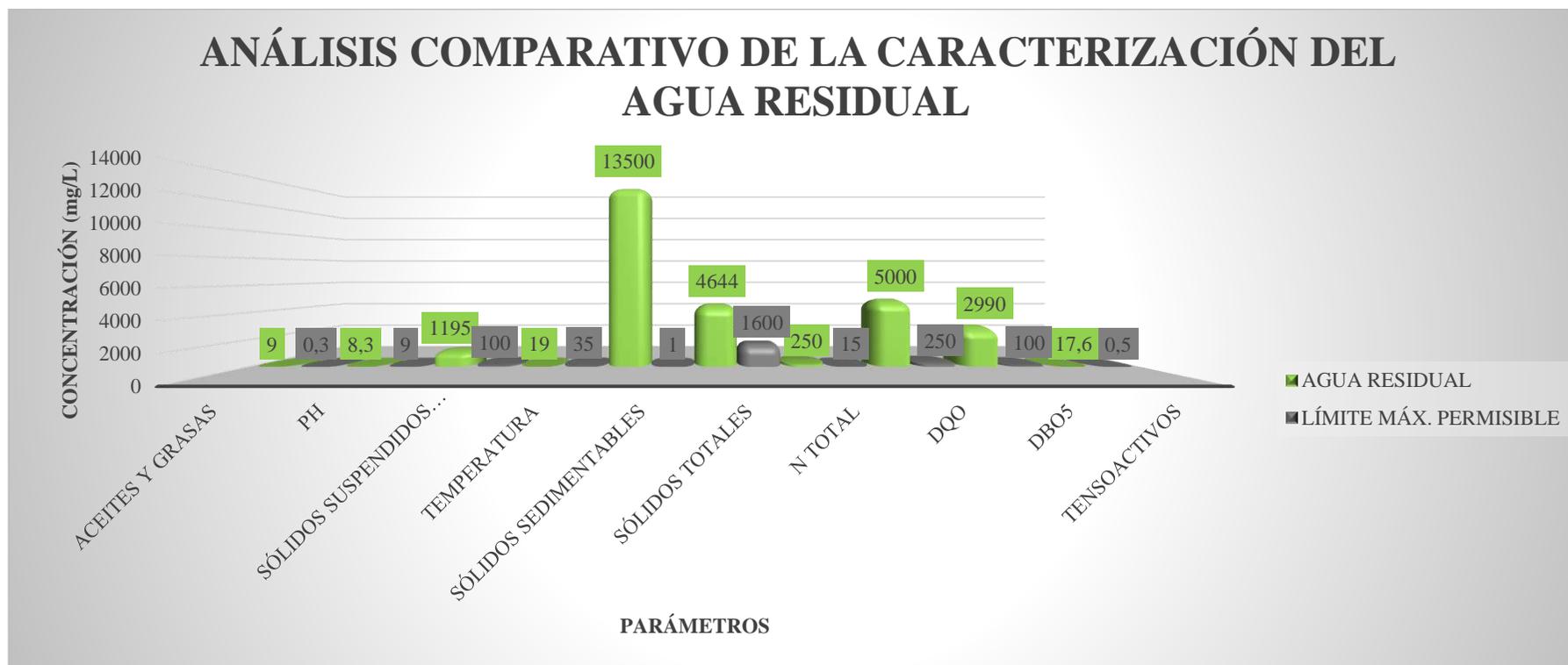


Gráfico 2-4: Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua residual con la normativa TULSMA

Realizado por: Bayas, L.2019

4.1.3 Resultados del dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual para COPROBICH

➤ Caudal de diseño

A continuación, en la **Tabla 1-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el caudal de diseño.

Tabla 1-4: Resultados del caudal de diseño

PARÁMETRO	UNIDAD	CÁLCULO
Caudal experimental	L/s	2,3
Caudal proyectado	L/s	1,38
Caudal de diseño	L/s	3,68

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Canal de entrada

A continuación, en la **Tabla 2-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el canal de entrada.

Tabla 2-4: Resultados del canal de entrada

PARÁMETRO	UNIDAD	CÁLCULO
Ancho del canal	m	0,25
Altura de agua en el canal	m	0,08
Pendiente	m/m	0,005
Radio hidráulico	m	0,05
Velocidad de flujo	m/s	0,19
Área de la sección transversal	m ²	0,02
Altura total del canal	m	0,23
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Sedimentador primario circular:

A continuación, en la **Tabla 3-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el sedimentador primario circular.

Tabla 3-4: Resultados del sedimentador primario circular

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área superficial del sedimentador	m ²	1,66
Volumen del sedimentador	m ³	3,32
Diámetro del sedimentador	m	1,5
Radio del sedimentador	m	0,75
Tiempo de retención hidráulica	h	3
Porcentaje de remoción de DBO ₅	%	38,5
Porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos totales	%	60,64
Material de construcción	Hormigón Simple f _c = 280 kg/cm ²	

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Aireador (Reactor biológico):

A continuación, en la **Tabla 4-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el aireador (reactor biológico).

Tabla 4-4: Resultados del aireador (reactor biológico)

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Volumen del tanque aireador	m ³	12
Área superficial del tanque aireador	m ²	6
Altura del tanque aireador	m	3
Largo del tanque aireador	m	2
Ancho del tanque aireador	m	2
Eficiencia	%	83,28
Tiempo de retención hidráulica	h	11
Relación alimento / organismo	Adimensional	0,37
Caudal de aire	m ³ /h	508,42
Número de difusores a emplear	Adimensional	46
Material de construcción	Hormigón simple f _c = 280kg/cm ²	

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Sedimentador secundario circular:

A continuación, en la **Tabla 5-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el sedimentador secundario circular.

Tabla 5-4: Resultados del sedimentador secundario circular

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área superficial del sedimentador	m ²	3,31
Volumen del sedimentador	m ³	6,62
Diámetro del sedimentador	m	2,1
Radio del sedimentador	m	1,05
Tiempo de retención hidráulica	h	6
Porcentaje de remoción de DBO ₅	%	43,47
Porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos totales	%	63,56
Material de construcción	Hormigón simple f'c= 280kg/cm ²	

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Filtro:

A continuación, en la **Tabla 6-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el filtro.

Tabla 6-4: Resultados del Filtro

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área superficial del filtro	m ²	0,23
Largo del filtro	m	0,59
Ancho del filtro	m	0,39
Altura	m	1,5
Volumen del filtro	m ³	0,35
Tiempo de retención hidráulica	min	19
Material del filtro	Antracita	

Realizado por: Bayas, L. 2019

➤ Lecho de secado:

A continuación, en la **Tabla 7-4** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos para el lecho de secado.

Tabla 7-4: Resultados del lecho de secado

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Volumen diario de lodos digeridos	m ³ / día	0,54
Volumen de lodos	m ³	8,1
Área del lecho de secado	m ²	13,5
Largo del lecho de secado	m	4
Ancho del lecho de secado	m	3
Número de lechos de secado	Adimensional	1
Material del lecho de secado		Arena

Realizado por: Bayas, L. 2019

4.1.4 Resultados de la caracterización del agua residual tratada

A continuación, en la **Tabla 8-4** se presentan los resultados obtenidos de la caracterización del agua tratada.

Tabla 8-4: Resultados de la caracterización del agua tratada

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA TRATADA	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE/TULSMA
Aceites Y Grasas	mg/l	0,1	0,3
Color Real	Unds de Pt//Co	30	Inapreciable en dilución: 1/20
Turbiedad	NTU	13,77	.....
Conductividad	uS	580	.....
Ph		7,71	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	7	100
Temperatura	°C	21,8	< 35
Sólidos Sedimentables	mg/l	Ausencia	1
Sólidos Totales	mg/l	392	1600
N Total	mg/l	5	15
DQO	mg/l	224	250
DBO5	mg/l	94	100
Coliformes Fecales	UFC/100ml	Ausencia	Remoción > al 99,9 %
Tensoactivos	mg/l	0,16	0,5

Realizado por: Bayas, L. 2019

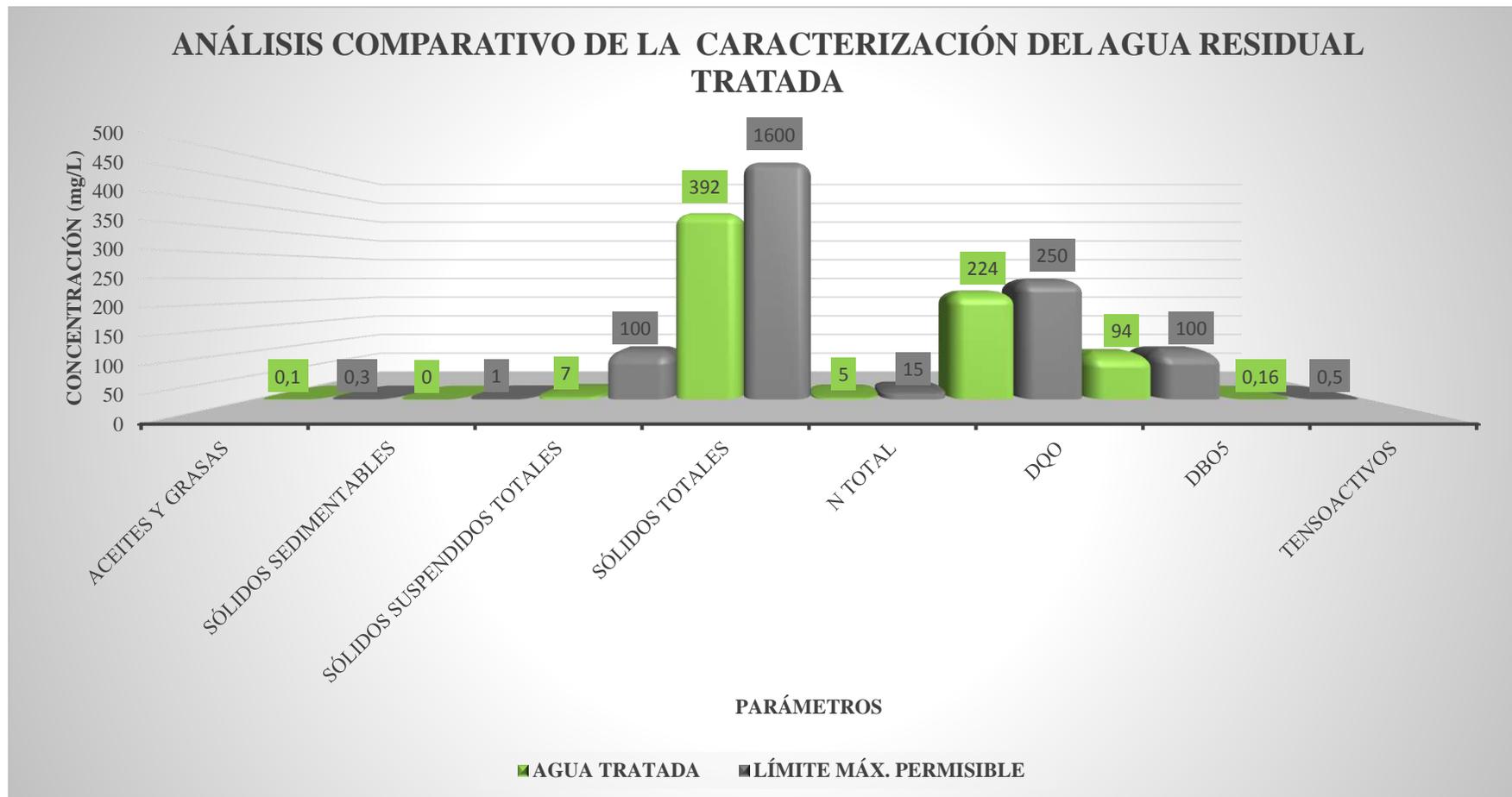


Gráfico 3-4: Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua tratada con el TULSMA

Realizado por: Bayas, L.2019

4.1.5 Resultados del porcentaje de remoción de los parámetros contaminantes

A continuación, en la **Tabla 9-4** se presentan los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de contaminantes.

Tabla 9-4: Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUA RESIDUAL	AGUA TRATADA	PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%)
ACEITES Y GRASAS	mg/l	9	0,1	98,9
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	1195	7	99,4
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	13500	0	100,0
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	4644	392	91,6
N TOTAL	mg/l	250	5	98,0
DQO	mg/l	5000	224	95,5
DBO5	mg/l	2990	94	96,9
TENSOACTIVOS	mg/l	17,6	0,16	99,1
PORCENTAJE DE REMOCIÓN TOTAL (%)				97,4

Realizado por: Bayas, L. 2019

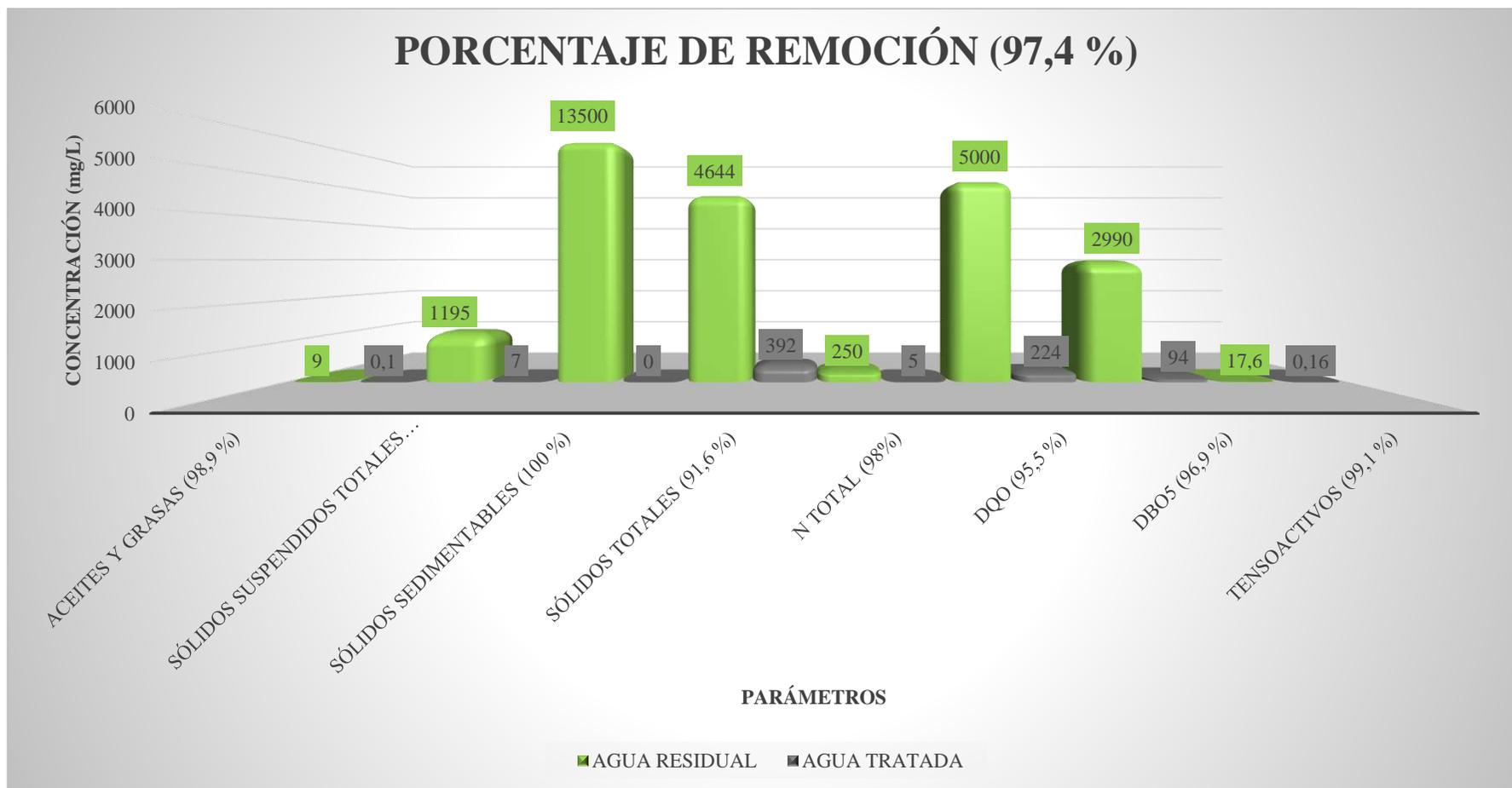


Gráfico 4-4: Porcentaje de remoción de parámetros contaminantes

Realizado por: Bayas, L.2019

4.2 Análisis y discusión de Resultados

Los resultados de la caracterización del agua de pozo (agua de lavado) **Tabla 4-3** obtenidos fueron comparados con la normativa INEN 1108 **Gráfico 1-4** que hace referencia a los límites máximos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que debe tener el agua potable, en este caso, al tratarse de agua de pozo, incluso no siendo agua potable está por debajo de casi todos los límites establecidos a excepción de la dureza que excede el límite con un mínimo valor, cabe recalcar la ausencia de coliformes fecales y apenas 2 coliformes totales, esto tiene una gran importancia ya que por la certificación orgánica que presenta y necesita la empresa para exportar su producto, el agua no puede ser clorada, ni usar ningún otro químico para su desinfección.

Los resultados de la caracterización del agua residual **Tabla 5-3** se compararon con la Tabla 12 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, del anexo 1 del TULSMA **Gráfico 2-4**; se puede observar que fueron algunos los parámetros que se encontraban fuera de norma y por cantidades considerables, era bastante lógico encontrar una demanda bioquímica y química de oxígeno puesto que se trataba del lavado de quinua, además de la presencia considerable de nitrógeno y grasas; también no es raro que se hayan encontrado una gran cantidad de sólidos suspendidos, sedimentables y totales por el escarificado previo que sufre la quinua; otro parámetro que se esperaba encontrar fuera del límite permisible era el de tensoactivos debido al comportamiento de la saponina como un tensoactivo natural.

El índice de biodegradabilidad de la muestra de agua residual tuvo un valor igual a 0,6 lo que quiere decir que es muy biodegradable **Tabla 6-3** y por ende se realizó un tratamiento biológico para la depuración de su carga contaminante; dicho valor fue muy conveniente ya que uno de los planteamientos iniciales a más de cumplir con la normativa, fue el recircular el agua para el mismo proceso y para ello, el agua no podía ser tratada con ningún químico, a nivel de laboratorio se realizaron a las muestras procesos de sedimentación primaria, aireación biológica, sedimentación secundaria y filtración para su tratamiento; el agua ya podía ser recirculada antes del proceso de filtración.

Los cálculos del dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) se realizó con información experimental medida in situ como es el caso del caudal de descarga de agua residual **Tabla 1-4**; también se utilizó información bibliográfica para dicho dimensionamiento como cargas superficiales para los sedimentadores y se tuvo que jugar con ellas ya que generalmente la información que se tiene en libros acerca del diseño de plantas de tratamiento de agua residual hace referencia a aguas residuales domésticas más no industriales; sin embargo, sirven como guía para dar a conocer una propuesta tecnológica aceptable y propicia.

El proceso de aireación tuvo un alto rendimiento **Tabla 4-4** esto gracias a los microorganismos presentes en el agua residual y al alto contenido de nutrientes (especialmente de nitrógeno **Tabla 5-3** necesarios para su crecimiento, además de una aireación apropiada para su supervivencia.

Los resultados de la caracterización del agua tratada **Tabla 8-4** fueron comparados con la normativa vigente **Gráfico 3-4** cumpliendo con todos los límites permisibles establecidos en dicha norma; el tratamiento biológico que se realizó obtuvo un porcentaje de remoción de contaminantes de 97,4 % **Tabla 9-4** asegurando de esta manera, la gran eficiencia de los procesos empleados para dicho tratamiento.

CAPÍTULO V

5. COSTOS DEL PROYECTO

5.1 Costo aproximado de inversión inicial para la propuesta de la PTAR

Los costos detallados a continuación no incluyen mano de obra ni tampoco IVA.

Tabla 1-5: Costos de inversión inicial para la PTAR

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
OBRAS PRELIMINARES				
Limpieza y desbroce	m2	26	0,64	16,64
Excavación con maquinaria	m3	15	6,76	101,4
Replanteo y nivelación	m2	26	0,4	10,4
Desalojo de tierra	m3	15	8	120
Cerramiento	m2	26	25,9	673,4
SUBTOTAL				921,84
CANAL DE ENTRADA				
Hormigón simple fc= 280kg/cm2	m3	0,35	441,5	154,53
Encofrado	m2	0,1	25,5	2,55
Enlucido	m2	0,1	20,72	2,07
SUBTOTAL				159,15
SEDIMENTADOR PRIMARIO				
Hormigón simple fc= 280kg/cm2 (Incluye encofrado)	m3	3,32	441,5	1465,78
Enlucido	m2	1,66	20,72	34,40
SUBTOTAL				1500,18
AIREADOR (REACTOR BIOLÓGICO)				
Hormigón simple fc= 280kg/cm2 (Incluye encofrado)	m3	12	441,5	5298
Enlucido	m2	7,35	20,72	152,29
Difusor AFD 350	U	46	39,9	1835,4
SUBTOTAL				7285,69
SEDIMENTADOR SECUNDARIO				
Hormigón simple fc= 280kg/cm2 (Incluye encofrado)	m3	6,62	441,5	2922,73
Enlucido	m2	3,31	18,72	61,96
Bomba de agua para la recirculación	U	1	100	100
Tubería E/C 160MM * 3M plastigama	U	1	36,16	36,16
SUBTOTAL				3120,85
FILTRO				
Hormigón simple fc= 280kg/cm2 (Incluye encofrado)	m3	0,4	286,88	114,75
Enlucido	m3	0,4	18,72	7,49
SUBTOTAL				122,24
LECHO DE SECADO				
Hormigón simple fc= 280kg/cm2 (Incluye encofrado)	m3	7,2	224,66	1617,55
SUBTOTAL				1617,55
TOTAL				14727,50

Realizado por: Bayas, L. 2019

5.2 Análisis de costos para la propuesta de la Planta de Tratamiento de Agua residual (PTAR)

En la *Tabla 1-5* se puede notar que, en caso de llegar a implementarse la propuesta de la PTAR, el costo más significativo será el del aireador (reactor biológico) debido a que se está realizando un proceso biológico para la depuración de la carga orgánica del agua residual y se necesita de la implementación de los difusores de burbuja fina para mantener una constante aireación; además, cabe destacar que los difusores por unidad tienen una potencia aproximadamente de 0,75 KWh (Según ficha técnica), dando un total de 34,5 KWh para todo el sistema de aireación propuesto y sabiendo que por KWh en Ecuador se paga \$ 1,414 ; se tiene un consumo diario de \$25,45.

Pese a ser una inversión algo costosa, COPROBICH necesita de una PTAR para cumplir con la legislación ambiental y evitar las inconformidades que hoy presenta constantemente en las auditorías que se han venido realizando en la empresa; y para que dichas inconformidades no terminen en fuertes sanciones que incluso pueden llegar a una paralización de producción y perjudicar totalmente la economía de la empresa.

Otro beneficio que trae consigo el tratamiento biológico que se realizó al agua residual, es que, al no utilizar ningún químico para su tratamiento, la misma está totalmente apta para su reutilización en el mismo proceso o para algún otro uso predeterminado.

5.3 Costos empleados para la ejecución del proyecto

Tabla 2-5: Costos empleados para la ejecución del proyecto

PRESUPUESTO			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
ANÁLISIS DE LABORATORIO			
Toma, transporte y almacenamiento adecuado de las muestras.	\$50,00	X	
Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua de pozo y residual antes del tratamiento en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias ESPOCH.	\$150,00	X	
Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua residual durante y después del tratamiento en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias ESPOCH.	\$200,00	X	
SUBTOTAL		\$400,00	
LOGÍSTICA			
Transporte (Riobamba-Colta)	\$100,00	X	
Recargas e internet	\$20,00	X	
SUBTOTAL		\$120,00	
MATERIAL DE OFICINA			
Copias	\$15,00	X	
Impresiones	\$20,00	X	
Anillados	\$15,00	X	
Empastados	\$50,00	X	
Imprevistos	100,00	X	
SUBTOTAL	\$200,00		
TOTAL		\$720,00	

Realizado por: Bayas, L. 2019

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de pozo y agua residual de la planta procesadora de quinua COPROBICH, se pudo evidenciar que la calidad del agua de pozo al ser comparada con la normativa para agua potable INEN 1108 cumple con casi todos los límites permisibles a excepción de la dureza y se considera un agua apta para el proceso de la planta. Con la caracterización del agua residual se determina los parámetros contaminantes que se encuentran fuera de la normativa del TULSMA, anexo 1, tabla 12 en la cual se establecen los límites máximos permitidos para la descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce, los parámetros fuera de norma son: aceites y grasas, color real, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, nitrógeno total, DQO, DBO₅, tensoactivos y coliformes fecales.
- Se ejecutó distintas pruebas de tratabilidad al agua residual, partiendo del índice de biodegradabilidad con un valor de 0,6 que da la pauta para realizar un tratamiento biológico; siendo los procesos idóneos para lograr el tratamiento del agua residual una sedimentación primaria, un proceso de aireación en un reactor biológico, una sedimentación secundaria y una filtración con antracita.
- Se identificó las variables de proceso como es el caso del caudal de diseño, mismo que sirvió como base para todo el diseño de la PTAR, además se necesitaron de otras variables establecidas en fuentes bibliográficas como la carga superficial, profundidades, coeficientes, entre otros; dando como resultado final el dimensionamiento de un canal de entrada, un sedimentador primario, un aireador (reactor biológico), un sedimentador secundario, un filtro y por último un lecho de secado para los lodos provenientes de los dos sedimentadores.
- Se validó el diseño propuesto con la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada, cumpliendo así con los límites establecidos en la normativa vigente; con un porcentaje de remoción del 97,4 % de los parámetros contaminantes logrando una gran eficiencia de la PTAR diseñada.

RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta que para un dimensionamiento más acertado se deberá realizar un estudio muy profundo a nivel de laboratorio, con datos experimentales más minuciosos, puesto que algunas variables y constantes utilizadas para el presente diseño son tomadas de fuentes bibliográficas de otro tipo de agua residual ya que, para este tipo, específicamente de aguas provenientes del lavado de quinua no existe dicha información.
- Es importante que en el caso de ser implementada la presente propuesta se capacite al personal que va a encargarse de la PTAR, así como programar el tiempo de mantenimiento para las distintas etapas del tratamiento y realizar análisis de laboratorio para comprobar su eficiencia.
- Recircular el agua tratada en el mismo proceso o reutilizarla para otro fin determinado ya que se tiene un 97,4% de remoción de los parámetros contaminantes.
- Realizar otros estudios de los lodos generados como subproducto a lo largo del tratamiento ya que tienen una alta concentración de saponinas, mismas que son muy apetecidas comercialmente para la elaboración de otros productos como Shampoo, jabón, pasta dental, insecticidas, entre otros.
- Es indispensable que se asegure en los procesos anteriores como la selección y el escarificado de la quinua para que llegue lo más limpia posible a la etapa de lavado y así disminuir la carga contaminante presente en el agua residual generada.
- Analizar la factibilidad económica de un tratamiento químico para el agua residual y así tener claro qué tratamiento resultaría más idóneo desde el punto de vista ingenieril, para este tipo de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

ALMEIDA, J. Mejoramiento del proceso productivo de quinua (*Chenopodiumquinua*, W), En El Centro Poscosecha de Granos Andinos “Imbandino”, MAGAP-Imbabura. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2015. pp. 21-22 [Consulta: 26 de noviembre de 2019.] Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4492/1/03%20EIA%20367%20TESIS.pdf>.

ASAMBLEA CONSTITUYENTE. Constitución del Ecuador. [En línea] 2008. [Consulta: 16 de diciembre de 2019.] Disponible en: <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6716.pdf>.

BRAND, D. Efectos de los tensoactivos en el medio ambiente. [En línea] 2019. pp. 1-15 [Consulta: 12 de diciembre de 2019.] Disponible en: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/623/1/EFFECTOS%20DE%20LOS%20TENSOACTIVOS.pdf>.

CANJURA, K. & LEMUS, Z. Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de el Salvador, Ciudad Universitaria, El Salvador. 2003. pp. 9-11 [Consulta: 12 de diciembre de 2019.] Disponible en: http://ri.ues.edu.sv/2625/1/Propuesta_de_un_sistema_de_tratamiento_para_las_aguas_residuales_provenientes_de_lavaderos_p%C3%BAblicos_del_municipio_de_Nejapa.pdf.

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley de Gestión Ambiental [en línea]. 2004. [Consulta: 19 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Ley-de-Gestio-n-Ambiental.pdf>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental [en línea]. 2004. [Consulta: 19 de diciembre de 2019] Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley organica de salud [en línea]. 2006. [Consulta: 19 de diciembre de 2019] Disponible en: www.lexis.com.ec

CRESPI, M. "Depuración de las aguas residuales en la industria de los tensioactivos". Boletín Intexter [En línea], 1996. 110(1), pp. 49-58[Consulta: 15 de diciembre de 2019.] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6419/Article05.pdf?sequence=1&isAllowed>.

GAMARRA, M. La adopción de tecnología como una forma de internalizar las externalidades ambientales del beneficiado de quinua en Oruro, Bolivia. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) El Colegio de la Frontera Norte, Monterrey, Mexico. 2016. pp. 21-22. [Consulta: 24 de noviembre de 2019.] Disponible en: <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Del-Barco-Gamarra-Mar%C3%ADa-Teresa.pdf>.

MORENO, E. "La experiencia de Holanda y Alemania en el uso de cargos por vertimientos de aguas residuales como instrumento para el control de la contaminación hídrica Elementos para decidir los parámetros a ser". Economía y desarrollo [En línea], 2005, (Colombia). 4(1), pp.55-87 [Consulta: 27 de noviembre de 2019.] Disponible en: <http://uac1.fuac.edu.co/revista/IV/IV/tres.pdf>.

METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización.* 3era ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 1995. ISBN 0 07 041690 7. DOI 10.1036/0070418780, pp. 100-200

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Libro VI [En línea] 2017. [Consulta: 20 de diciembre de 2019.] Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>.

ROJAS, R. Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Gestion integral de Tratamiento de Aguas Residuales. [En línea] 2002. pp. 15 [Consulta: 13 de diciembre de 2019.] Disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200204%2Fus-east-

1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200204T025032Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=60cf23221af50c999cbacc04a76558f3023fe82e20c645b1771b8859b71476a2

VIMOS, C. et.al. INIAP-Ingapirca e INIAP-Tunkahuan: dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina. [En línea] 1992. pp. 20 [Consulta: 10 de noviembre de 2019.] Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/270/4/iniapscbd228.pdf>.

ZABALETA, R. "Diseño conceptual para la descontaminación y economía de agua en plantas de desamargado de quinua" Universidad Católica Boliviana [En línea], 2010 (Bolivia) pp. 85-96. [Consulta: 28 de noviembre de 2019.] Disponible en: <http://www.scielo.org/bo/pdf/rcc/n24/v11n24a06.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A ANÁLISIS DE LABORATORIO



Análisis de tensoactivos



Análisis de grasas

ANEXO B MEDICIÓN EXPERIMENTAL DEL CAUDAL



ANEXO C PRUEBAS DE TRATABILIDAD



Proceso de aeración del agua residual



Proceso de filtración del agua residual

ANEXO D MUESTRAS DE AGUA DESPUÉS DE LA AIREACIÓN Y FILTRACIÓN



ANEXO E RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE POZO



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext. 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Livaneza Bayas

Fecha de Análisis: 04 de junio de 2019

Tipo de muestra: Agua de pozo

Localidad: COPROBICH. Cantón Colta

TRABAJO DE TESIS

Determinaciones	Unidades	*Métodos	Resultados
Color aparente	Und Pt/Co	2120-C	2
Turbiedad	NTU	2130-B	0,44
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	566
pH	....	4500-B	7,75
Dureza	mg/L	2340-C	390
Alcalinidad	mg/L	2320-B	290
Temperatura	°C	2550-B	21,3
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	0,84
Nitratos	mg/L	4500-NO3-E	3,8
Nitritos	mg/L	4500-NO2-B	0,006
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	0,04
Fluoruros	mg/L	4500-F-D	0,68
Cloruros	mg/L	45000-Cl-B	7,09
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	46
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	2
Coliformes totales	UFC/100mL	9222-B	2
Coliformes fecales	UFC/100mL	9222-B	Ausencia

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ANEXO F RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext. 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Livaneza Bayas

Fecha de Análisis: 18 de octubre de 2019

Tipo de muestra: Agua residual de lavado de quinua

Localidad: COPROBICH. Cantón Colta

TRABAJO DE TESIS

Determinaciones	Unidades	*Métodos	**Límites	Resultados
Aceites y grasas	mg/L	5520-B	0,3	9
Color real	Und Pt/Co	2120-C	Inapreciable en dilución: 1/20	3 520
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	931
Conductividad	µSiems/cm	2510-B	.....	1 308
pH		4500-B	5-9	8,3
Color aparente	Und Pt/Co	2120-C	.....	6 300
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	100	1 195
Temperatura	°C	2550-B	< 35	19
Sólidos sedimentables	mg/L	2540-B	1	13 500
Sólidos totales	mg/L	2540-A	1600	4 644
Nitrógeno total	mg/L	4500-Norg-C	15	250
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	5 000
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	5210-B	100	2 990
Coliformes fecales	UFC/100mL	9222-B	Remoción > al 99,9 %	240
Tensoactivos	mg/L	5540-C	0,5	17,6

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA. ANEXO I. Tabla 12

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ANEXO G RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext. 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Livaneza Bayas

Fecha de Análisis: 22 de noviembre de 2019

Tipo de muestra: Agua tratada (Agua residual de lavado de quinua)

Localidad: COPROBICH. Cantón Colta

TRABAJO DE TESIS

Determinaciones	Unidades	*Métodos	**Límites	Resultados
Aceites y grasas	mg/l	5520-B	0,3	0,1
Color real	Und Pt/Co	2120-C	Inapreciable en dilución: 1/20	30
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	13,77
Conductividad	uS	2510-B	.....	580
pH	.....	4500-B	6-9	7,71
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2540-D	100	7
Temperatura	°C	2550-B	< 35	21,8
Sólidos Sedimentables	mg/l	2540-B	1	Ausencia
Sólidos Totales	mg/l	2549-A	1600	392
Nitrógeno Total	mg/l	4500- Norg-C	15	5
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5220-C	250	224
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/l	5210-B	100	94
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-B	Remoción > al 99,9 %	Ausencia
Tensoactivos	mg/l	5540-C	0,5	0,16

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA. ANEXO I. Tabla 12

Observaciones:

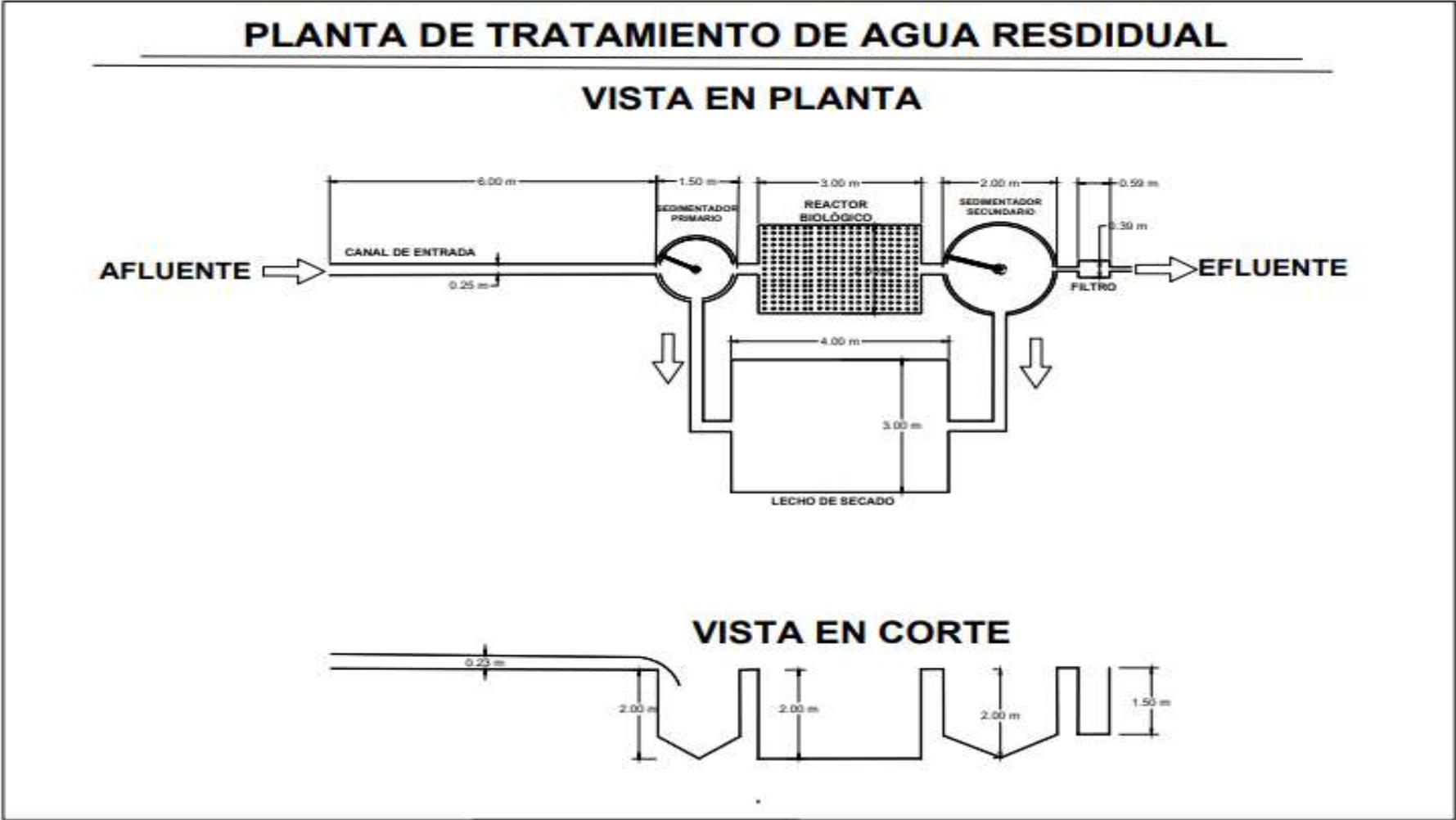
Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ANEXO H PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



ANEXO I CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA
COPROBICH



CORPORACIÓN DE PRODUCTORES
Y COMERCIALIZADORES ORGÁNICOS
"BIO TAITA CHIMBORAZO"

CERTIFICADO

La Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo "COPROBICH" extiende sus más atentos saludos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo "ESPOCH" y tiene el honor de comunicarse para lo detallado a continuación:

Mediante la presente me permito certificar a la Srta. **Livaneza Concepción Bayas Huilca** con cedula de identidad No. **020201296-9** la culminación del trabajo de titulación correspondiente al tema: **"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA CORPORACIÓN DE PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES ORGÁNICOS BIO TAITA CHIMBORAZO – COPROBICH"** del proyecto de vinculación: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE CONSUMO DE LA QUINUA Y SUS DERIVADOS (COPROBICH)"** desarrollado para nuestra empresa en el cantón Colta, provincia de Chimborazo.

Mishquilli, 5 de febrero del 2020

Atentamente.

Sr. Manuel Abemañay M.
PRESIDENTE COPROBICH
C.I. 060227973-9



📍 Primero de Agosto
Sector Mishquilli
☎ (+593) 0997660435
Cajabamba - Ecuador
✉ info@coprobich.com
🌐 www.coprobich.com