



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

Título

**Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la
microempresa de lácteos Digna Isabel**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental

Autor:

**Chico Chafra María de los Ángeles
Yupangui Serrano Dayana Belén**

Tutor:

MgSc. María Fernanda Rivera Castillo

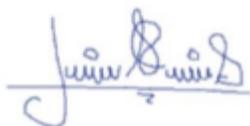
Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotras, **María de los Ángeles Chico Chafla y Dayana Belén Yupangui Serrano**, con cédula de ciudadanía **060561811-5** y **060492370-6**, autoras del trabajo de investigación titulado: **Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la microempresa de lácteos Digna Isabel**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, a los 20 días del mes de abril del 2023



María de los Ángeles Chico Chafla
C.I: 060561811-5



Dayana Belén Yupangui Serrano
C.I: 060492370-6

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

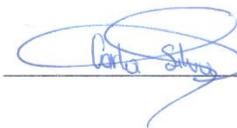
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado del trabajo de investigación **Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la microempresa de lácteos Digna Isabel**, presentado por **María de los Ángeles Chico Chafra y Dayana Belén Yupangui Serrano**, con cédula de identidad número **060561811-5** y **060492370-6**, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la APROBACIÓN de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 20 días del mes de abril del 2023.

José Prato, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Carla Silva, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



María Fernanda Rivera, Mgs.
TUTOR

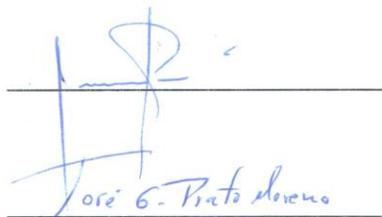


CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la microempresa de lácteos Digna Isabel**, presentado por **María de los Ángeles Chico Chafra** y **Dayana Belén Yupangui Serrano**, con cédula de identidad número **060561811-5** y **060492370-6**, bajo la tutoría de Mg. María Fernanda Rivera; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 20 días del mes de abril del 2023.

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Iván Ríos



Handwritten signature of Iván Ríos in blue ink, written over a horizontal line.

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. José Prato



Handwritten signature of José Prato in blue ink, written over a horizontal line.

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Carla Silva



Handwritten signature of Carla Silva in blue ink, written over a horizontal line.



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **CHICO CHAFLA MARIA DE LOS ANGELES** con CC: **060561811-5**, estudiante de la Carrera **INGENIERIA AMBIENTAL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA MICROEMPRESA DE LACTEOS DIGNA ISABEL**", cumple con el 5 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de abril de 2023



MARIA FERNANDA
RIVERA CASTILLO

Mgs. María Fernanda Rivera
TUTORA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **YUPANGUI SERRANO DAYANA BELEN** con CC: **060492370-6**, estudiante de la Carrera **INGENIERIA AMBIENTAL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA MICROEMPRESA DE LACTEOS DIGNA ISABEL**", cumple con el 5%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de abril de 2023



MARIA FERNANDA
RIVERA CASTILLO

Mgs. María Fernanda Rivera
TUTORA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

El trabajo investigativo que a continuación se va a presentar lo queremos dedicar en primer lugar a Dios, por ser nuestro guía, inspiración y fuerza para continuar este proceso de obtener una de nuestras metas más anheladas durante mucho tiempo.

A nuestros padres por su sacrificio, constancia y apoyo que día a día nos han ido brindando en todo este tiempo, juntos hemos logrado llegar hasta esta etapa de nuestras vidas y convertirnos en los que somos, por ello es para nosotras un orgullo el ser sus hijas.

A nuestros hermanos (a) por su acompañamiento y apoyo moral, por ser partes de nuestras vidas y por todo lo que han aportado en ellas.

A nuestra familia en general que nos ha ido apoyando a lo largo de nuestra carrera que nos han dado aliento para seguir en el proceso y convertirnos en Ingenieras.

A nuestra tutora Mgs. María Fernanda Rivera Castillo por ser nuestra guía y consejera en el presente trabajo investigativo, por sus aportes y conocimientos que hicieron posible la solvencia en este presente trabajo.

A nuestros docentes y técnicos de laboratorio de esta prestigiosa entidad educativa que nos han permitido que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Finalmente, a todos nuestros amigos que en el trayecto nos acompañaron en nuestra vida universitaria donde compartimos muchas experiencias ya sean estas académicas o sociales los cuales nos brindaron mucha alegría, es difícil olvidar todos los momentos que pasamos juntos convirtiendo nuestra amistad en una hermandad, siempre los vamos a tener en nuestro corazón.

AGRADECIMIENTO

Nuestra más sincera gratitud hacia Dios por bendecir nuestras vidas y ser nuestra guía a lo largo de nuestra existencia y el mayor apoyo y fortaleza para aquellos momentos difíciles o de debilidad.

De igual forma agradecemos a nuestros padres: Guillermo y Carmita, David y Silvia, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por siempre confiar y creer en nuestras expectativas, por sus valiosos consejos, valores y principios que nos han inculcado durante todo este tiempo.

Le agradecemos a los Técnicos de los laboratorios de química, física y ciencias ambientales quienes nos prestaron las instalaciones al igual que los equipos y nos guiaron para poder realizar nuestra investigación de manera correcta.

Agradecemos a nuestros docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Chimborazo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y de manera especial a la Ing. María Fernanda Rivera tutora de nuestro proyecto de investigación quien nos ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, y a la microempresa de lácteos Digna Isabel por su valioso aporte para nuestra investigación.

ÍNDICE GENERAL:

PRELIMINARES

Derechos de Autoría	2
Dictamen Favorable del Tutor y Miembros de Tribunal	3
Certificado de los Miembros del Tribunal	4
Certificado Antiplagio	5
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Índice General	9
Índice Tablas	12
Índice Figuras	13
Resumen	14
Abstract	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 OBJETIVOS.....	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Agua	19
2.2 Contaminación de las aguas por las industrias.....	19
2.3 Industria láctea	19
2.4 Contaminación de las aguas por la industria láctea.....	20
2.5 Calidad de agua	20
2.6 Importancia de la calidad de agua	20
2.7 Protección de la calidad de las aguas	21
2.8 Parámetros de análisis de la calidad del agua	21
2.9 Sistema de tratamiento de aguas residuales	22

2.10	Índice de Biodegradabilidad.....	23
2.11	Homogenización.....	24
2.12	Trampa de Grasas.....	24
2.13	Coagulación y Floculación.....	25
2.14	Decantador de Alta tasa de flujo ascendente.....	25
2.15	Lodos Activados.....	26
CAPITULO III METODOLOGÍA		28
3.1	Tipo de Investigación	28
3.1.	Diseño de investigación	28
3.2.	Técnica de recolección de datos.....	28
3.3.	Población de estudio y tamaño de la muestra	29
3.3.1.	Población.....	29
3.3.2.	Muestra	31
3.4.	Métodos de análisis	32
3.4.1.	Caracterización del Agua Residual.....	32
3.4.2.	Determinación del caudal	33
3.5.	Selección y dimensionamiento.....	33
3.5.1.	Prueba de jarras.....	34
3.5.2.	Criterios y fórmulas para el dimensionamiento del tanque homogenizador.....	35
3.5.3.	Criterios y fórmulas para el dimensionamiento de la trampa de grasas	37
3.5.4.	Criterios y fórmulas para el dimensionamiento del decantador de alta tasa.....	39
3.5.5.	Criterio y fórmulas para el dimensionamiento del sistema de lodos activados	42
3.6.	Validación de la eficiencia	45
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46
4.1	Análisis en laboratorio del agua residual	46
4.2	Caudal residual.....	47
4.3	Selección de las fases y equipos para el tratamiento de aguas.....	48
4.4	Dimensionamiento de los equipos del sistema de tratamientos	49
4.4.1.	Prueba de Jarras	49
4.4.2.	Dimensionamiento del tanque homogeneizador	51

4.4.3.	Dimensionamiento de la trampa de grasas.....	52
4.4.4.	Dimensionamiento del decantador de alta tasa.....	54
4.4.5.	Dimensionamiento del sistema de lodos activados.....	55
4.4.6.	Presupuesto estimado.....	58
4.5.	Estimación de la eficiencia de los equipos.....	59
4.5.1	Trampa de grasas	59
4.5.2	Coagulación – Floculación	59
4.5.3	Decantador de alta tasa	59
4.5.4	Sistema de lodos activados	60
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....		61
5.1.	Conclusiones	61
5.2.	Recomendaciones.....	61
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXOS		65

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. <i>Coordenadas Geográficas de la microempresa láctea Digna Isabel</i>	29
Tabla 2. <i>Técnicas metodológicas de ensayo en laboratorio</i>	32
Tabla 3. <i>Índice de biodegradabilidad y Tipo de tratamiento</i>	34
Tabla 4. <i>Materiales. Equipos, sustancias y reactivos de la prueba de jarras</i>	34
Tabla 5. <i>Criterios de diseño para el tanque homogenizador</i>	35
Tabla 6. <i>Criterios de diseño para trampa de grasas y aceites</i>	37
Tabla 7. <i>Parámetros de diseño de sedimentadores de alta tasa</i>	39
Tabla 8. <i>Parámetros de diseño del tanque de aireación</i>	42
Tabla 9. <i>Parámetros de diseño del tanque sedimentador secundario</i>	44
Tabla 10. <i>Caracterización del agua residual de la micro. de lácteos "Digna Isabel"</i>	46
Tabla 11. <i>Registro del caudal mínimo, medio y máximo - método volumétrico</i>	47
Tabla 12. <i>Resultados de la prueba de jarras empleando Coagulante y Floculante</i>	49
Tabla 13. <i>Costos de operación para coagulante y floculante</i>	51
Tabla 14. <i>Dimensionamiento del tanque homogeneizador</i>	52
Tabla 15. <i>Dimensionamiento de la trampa de grasas</i>	53
Tabla 16. <i>Dimensionamiento del decantador de alta tasa</i>	54
Tabla 17. <i>Dimensionamiento del sistema de lodos activados</i>	56
Tabla 18. <i>Presupuesto para la implementación de la planta de tratamiento</i>	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de ubicación de la Microempresa de lácteos Digna Isabel</i>	29
Figura 2. <i>Proceso de producción de queso</i>	30
Figura 3. <i>Proceso de producción de quesillo</i>	31
Figura 4. <i>Comparación de los valores analizados en laboratorio y en normativa</i>	47
Figura 5. <i>Propuesta de planta de tratamientos de la micr, de lácteos "Digna Isabel"</i>	49
Figura 6. <i>Muestra de agua residual de la fase de producción de la microempresa de lácteos "Digna Isabel"</i>	50
Figura 7. <i>Muestra de agua analizada después del proceso de prueba de jarras</i>	50
Figura 8. <i>Dimensiones del tanque homogeneizador</i>	52
Figura 9. <i>Dimensiones de la trampa de grasas</i>	53
Figura 10. <i>Dimensionamiento del decantador de alta tasa</i>	55
Figura 11. <i>Dimensionamiento del tanque de aireación</i>	57
Figura 12. <i>Dimensiones del tanque sedimentador</i>	57

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue realizar el diseño de una planta de tratamiento de agua residual para la microempresa láctea "Digna Isabel", el efluente fue analizado en los laboratorios de la UNACH determinando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sujetos a comparación con la normativa planteada en el TULSMA. De esta manera planteando el tratamiento que ayudara a minimizar los contaminantes aceites y grasas con un valor de 1673 mg/L, DBO₅ de 873.1 mgO₂/L, DQO de 1647mg/L, sales disueltas (fósforo, nitritos y nitratos) de 40 mg/L y 64.7 mg/L respectivamente, sólidos sedimentables (SS) de 14 mg/L, sólidos suspendidos totales (SST) de 670 mg/L y sólidos totales (ST) de 1814 mg/L, parámetros que no cumplieron con los límites máximos permisibles permitiéndonos establecer las siguientes fases y equipos que constituirán la planta de tratamiento. Los resultados obtenidos indicaron un alto contenido de aceites y grasas como de carga orgánica que presenta el efluente y bajo esta realidad se evaluó y estableció el sistema adecuado de tratamiento que parte de un Tanque Homogeneizador encargado de recolectar el agua residual durante toda la jornada de producción, una trampa de grasas donde el efluente saliente recibirá su dosis de coagulante y floculante, misma que fue estimada mediante laboratorio (prueba de jarras) obteniendo una dosificación de coagulante (PAC 10%) y el floculante (aniónico 5%) de 15 ppm por cada 500 ml, luego dicho efluente pasará al decantador de alta tasa que genera los lodos residuales que serán enviados a los lechos, finalmente pasará por el sistema de lodos activados que consta de un tanque de aireación y un sedimentador secundario que disminuirá la concentración de los contaminantes restantes. Finalmente, a través de un balance teórico de remoción de contaminante se estableció las eficiencias para cada equipo como son: Trampa de grasa una remoción de 95% de aceites y grasas, 5% de DBO₅ y 3% de DQO. Coagulación y floculación una remoción de 75.79% de DQO, 86.21% de SST, 98.8% de aceites y grasas y 80% de sales disueltas. Decantador de alta tasa una remoción del 93% de ST, 40% de DBO₅, 90% de SS, 30% de DQO y 50% de aceites y grasas. Finalmente, el sistema de lodos activados plantea remociones del 80% de DBO₅, 13% de DQO, 35% de aceites y grasas, 30% de (SS) y el 25% de sales disueltas.

Palabras claves: TULSMA, floculante aniónico, PAC, sales disueltas.

ABSTRACT

This research based on designing a wastewater treatment plant for the dairy microenterprise "Digna Isabel". The effluent analyzed in the UNACH laboratories, determining the physicochemical and microbiological parameters subject to comparison with the regulations set forth in the TULSMA. Proposing a treatment that will help minimize oil and grease contaminants with a value of 1673 mg/L, DBO₅ of 873.1 mgO₂/L, DQO of 1647mg/L, dissolved salts 64.7 mg/L, settleable solids (SS) of 14 mg/L, total suspended solids (SST) of 670 mg/L and total solids (ST) of 1814 mg/L, parameters that did not meet the maximum limit permissible, establishing the following phases and equipment that will constitute the treatment plant. The appropriate treatment system established, starting from a homogenizing tank, a grease trap where the outgoing effluent will receive its dose of coagulant and flocculant estimated by the laboratory, then said effluent will pass to the high-rate decanter that generates the residual sludge that will be sent. to the beds, finally It pass through the activated sludge system that consists of an aeration tank and a secondary decanter that will reduce the concentration of the remaining pollutants. Finally, through a theoretical balance of contaminant removal, the efficiencies for each equipment were established, such as: In the grease trap removals of 95% of oils and greases, 5% of DBO₅ and 3% of DQO. Coagulation and flocculation an elimination of 75.79% of DQO, 86.21% of SST, 98.8% of oils and fats and 80% of dissolved salts. High-rate decanter with a removal of 93% ST, 40% DBO₅, 90% SS, 30% DQO and 50% oils and fats. Finally, the activated sludge system removes 80% of DBO₅, 13% of DQO, 35% of oils and fats, 30% of SS and 25% of dissolved salts.

Keywords: TULSMA, anionic flocculant, PAC, dissolved salts.



Revisada electrónicamente por:
MARITZA DE LOURDES CHAVEZ
AGUAGALLO

Reviewed by:
Mgs. Maritza Chávez Aguagallo
ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0602232324

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

La producción industrial se encuentra en constante aumento y evolución a nivel mundial, debido principalmente a que las necesidades de la población se incrementan paulatinamente, como consecuencia de esto se genera una diversidad de tipología de residuos, que al no recibir el tratamiento adecuado antes de desecharlos contaminan el ambiente (Jiménez Idrovo, 2019). Las industrias relacionadas con el sector lácteo varían dependiendo de los productos presentes en el mercado que, por su complejidad, la contaminación generada no puede ser generalizada y esta dependerá del tipo de industria en estudio. En las centrales lecheras se produce diariamente una considerable cantidad de aguas residuales que suelen oscilar entre 2 y 10 litros (L) de agua por cada litro (L) de leche tratada, según el tipo de planta (Villena, 2012). Su mayor procedencia puede ser fundamentada en la limpieza de aparatos, máquinas y salas de tratamiento, debido a que contienen restos de productos lácteos y químicos como ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes, etc., aunque también puede deberse a las aguas de refrigeración que si no se recuperan de forma adecuada pueden suponer hasta 2 o 3 veces la cantidad de leche que entra a la central (Cáceres, 2012).

Por otro lado, los efluentes que más contaminación generan en las queserías si no se posee un aprovechamiento posterior son los sueros, los cuales contienen gran cantidad de lactosa y las proteínas del suero lácteo. Es por esta razón que no se los deben verter de forma directa al cauce o a la depuradora, pues provocarían un enorme incremento en la DBO, de igual forma en el proceso de salado también se provoca la emisión de efluentes líquidos, aunque en este caso con escasa materia orgánica y gran cantidad de sales (Villena, 2012).

La microempresa láctea Digna Isabel ubicada en la provincia de Chimborazo en la parroquia de San Juan en el barrio La Delicia, se dedica a la producción de leche, queso y derivados de los mismos que, debido a su sistema de fabricación produce residuos tanto sólidos como líquidos. Por esta razón, mediante el estudio planteado buscamos analizar el agua residual de la fase de producción que genera la microempresa, y establecer el diseño de una planta de tratamiento que permita disminuir los niveles de contaminantes presentes en el agua residual, y cumplir con las normativas establecidas.

1.1 ANTECEDENTES

Para el año 2019 se evidencio un mejoramiento en el sector lechero del Ecuador, pues para el último trimestre del año 2018 la producción de litros (L) de leche al día alcanzo los 5.3 millones, lo que avivado iniciativas de inversión en los ganaderos, fomentando así una comercialización más justa en el mercado interno volviéndolo más rentable (Santo & Toapanta, 2019).

Parte de la producción de leche es destinada a la fabricación de los derivados lácteos, siendo uno de ellos el queso, un derivado desarrollado a gran escala en los últimos quince años en el Ecuador, siendo el de mayor consumo nacional (Sáenz Roldan, 2013).

La generación de grandes cantidades de agua residual producto de la industrialización de lácteos genera contaminación en aguas subterráneas y superficiales, lo que termina siendo un factor negativo para el medio ambiente pues impurifica el recurso hídrico particularmente en términos de contaminación de nutrientes y eutrofización de los sistemas acuáticos, por lo que la implementación de tratamientos para aguas residuales es una idea en crecimiento para las grandes empresas del país, aunque no es lo mismo para las pequeñas empresas, sin embargo debido a las normativas exigentes en la actualidad, este hecho ha sido limitado pues el aumento de contaminantes reduce el agua disponible para el consumo humano e industrial generando una mayor demanda de agua residual a tratar (Santo & Toapanta, 2019). En Ecuador los sistemas de tratamientos que mayormente se emplean son los biológicos mediante un proceso aeróbico, debido a la eficiencia en el tratamiento y dependiendo del tratamiento sus bajos costos de implementación y mantenimiento (Sáenz Roldan, 2013).

La microempresa de lácteos “Digna Isabel” sujeto de estudio para el presente trabajo investigativo es de las pequeñas empresas que no cuentan con ningún tipo de tratamiento para el agua residual que genera su sistema productivo, a pesar de que gran parte del suero obtenido es empleado como fuente de alimento para el ganado del sector, sus descargas siguen evidenciando un alto contenido de materia orgánica por lo que es necesario tratar las mismas y de esta manera disminuir un foco contaminante del río Chimborazo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental es un enfoque primordial que las autoridades encargadas de su regulación tratan de regir adecuadamente para poder disminuir las problemáticas que generan tanto al agua, suelo y aire. Cabe recalcar que los sectores industriales son de las principales actividades que mayormente contaminan a los recursos, razón por la cual deben poseer un adecuado manejo de los efluentes originados por sus procesos (Gaïbor, 2014).

Si se considera las cantidades significativas de residuos líquidos generados en la industria láctea podemos enumerar la obtención de leche diluida, leche separada, crema y suero, además de grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno, así como residuos alcalinos y ácidos obtenidos de las fases de lavado utilizados para remover la leche y los productos lácteos, la descarga de estos sin un previo tratamiento los convierte en un foco contaminante (Iza Santo & Toapanta Moposita, 2019).

Por consecuente la propuesta del diseño de la planta de tratamiento para la microempresa láctea Digna Isabel surge debido a la carencia de la misma y a su necesidad de regular la cantidad de contaminante presente en sus efluentes como consecuencia del sistema de producción, esto debido a que, al no contar con un sistema de tratamiento actualmente sus vertidos se descargan en el río Chimborazo, lo que conlleva a una contaminación al recurso hídrico y con ello problemas de salubridad en los individuos que usan el mismo para actividades diversas como para las especies animales propias del sector que utilizan esta agua como fuente de bebida.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso esencial que permite el desarrollo de los ecosistemas, se usa como materia prima para la producción, y es base fundamental para satisfacer las necesidades de la población. Siendo principalmente las actividades antrópicas las que llegan a contaminarla debido a su no adecuado manejo (Cáceres, 2012).

Las aguas residuales provenientes del proceso de una industria láctea generalmente contienen suero lácteo que es un subproducto obtenido durante el proceso de fabricación del queso. Considerando este aspecto y la actual forma de vertido de los efluentes de la microempresa láctea Digan Isabel al río Chimborazo, podemos suponer que esta llega a afectar de manera directa a los cultivos y al ganado que se encuentra aledaños a la zona de estudio. Puesto que, el agua del río Chimborazo que actualmente se la visualiza en la zona de estudio con un alto contenido de materia orgánica, es redirigida como sistema de riego para los cultivos, así como es fuente de bebida para los rebaños y ganado de la población, que posteriormente son consumidos por la ciudadanía afectando a largo plazo su salud (Martínez Paucar & Yugcha Carrera, 2018). Por lo tanto, mediante el estudio propuesto se busca que el efluente residual de la microempresa cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, en su libro VI, anexo 1, tabla 12 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”. Cabe recalcar que según la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin previo tratamiento, reforzando así el criterio antes mencionado (TULSMA, 2017)

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la microempresa de lácteos Digna Isabel.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar físicoquímica y microbiológicamente el efluente vertido por la microempresa de lácteos Digna Isabel.
- Identificar el caudal de operación para seleccionar y dimensionar las unidades de proceso adecuados para el tratamiento del agua residual de la microempresa láctea.
- Validar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante el porcentaje de remoción de contaminantes establecidos teóricamente.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua

El agua es un recurso renovable finito, es fuente y sustento de la vida y para el desarrollo de las sociedades, cubre más del 70% de la superficie del planeta, el 97.5% se encuentra en los océanos y únicamente el 2.5% es agua dulce. Es esencial pues contribuye en la regulación del clima en el mundo. Es un material flexible, un solvente extraordinario y en muchos procesos metabólicos es un reactivo ideal, posee una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela (Fernández Cirelli, 2012).

2.2 Contaminación de las aguas por las industrias

El crecimiento del sector industrial es fundamental pues permite la reducción del índice de pobreza, la distribución de fuentes de empleo y con ello una mejora en las condiciones de vida, esto principalmente en países en vías de desarrollo, sin embargo, trae consigo la degradación natural y el agotamiento de recursos, pues en comparación con otros sectores la industria utiliza relativamente el 20% de la extracción total de agua dulce, misma que aumenta anualmente, por lo que en un futuro cercano este sector buscará competir por uno de los recursos más limitados junto a las demandas de la agricultura y el crecimiento urbano, considerando que en los países en vías de desarrollo en 70% de los residuos industriales se vierten sin tratamiento alguno a los cuerpos de agua (Santo & Toapanta, 2019).

La industria debido a que anualmente vierten entre 300 y 500 millones de toneladas de metales pesados, lodos tóxicos, disolventes y otros residuos, es considerada uno de los mayores contaminantes de los recursos hídricos, pues, convierten dicha agua en no potable al mismo tiempo que contaminan y matan peces, de igual manera existe el peligro de que este recurso contaminado se transfiera a la cadena trófica por medio de la captación directa de las plantas o animales, o por medio del uso en la agricultura (ONU, 2015).

2.3 Industria láctea

Es una industria alimentaria que tiene como materia prima principalmente leche, procedente de las vacas. De este tipo de industria se obtiene subproductos que se caracterizan como lácteos que pueden ser fermentados como el yogurt o no fermentados como la mantequilla y representa una importante fuente de ingreso o riqueza económica, para la transformación del producto las principales fases o etapas del circuito productivo son: el eslabón agrícola que provee de la materia prima, el industrial con la transformación y generación del producto derivado y el comercial que se encarga de la distribución o comercialización del producto (Pineda, 2019).

2.4 Contaminación de las aguas por la industria láctea

Las etapas de pasteurización, homogenización de la leche y elaboración de los subproductos lácteos generan en su mayoría agua residual, cuyo volumen, concentración y composición depende del tipo de producto que se está procesando, del programa de producción y de los métodos de operación y diseño de la planta de procesamiento. Así mismo, la mayoría del agua empleada para la limpieza del sistema transporta mediante bombas soluciones que contiene detergentes, desinfectantes, bases, sales y materia orgánica, dependiendo de la fuente puede contener hidróxido de sodio o solución ácida (ácido fosfórico o nítrico) para lavado, enjuague con agua y finalmente hipoclorito de sodio como desinfectante, estos productos químicos, eventualmente, se convierten en una parte de las aguas residuales (Santo & Toapanta, 2019).

Las aguas residuales lácteas al igual que las procedentes de otros sistemas agroindustriales, se caracterizan por presentar una alta demanda biológica de oxígeno (DBO) entre 2000 y 3000 mg/l y una demanda química de oxígeno (DQO) entre 2000 y 4000 mg/l, concentraciones que representan el alto contenido orgánico y los altos niveles de sólidos disueltos o suspendidos, incluyendo grasas, aceites y nutrientes como el amoníaco, minerales y fosfatos. Estas aguas residuales son poco alcalinas o neutras, pero a causa de la fermentación del azúcar de la leche tienden a volverse ácidas muy rápidamente produciendo ácido láctico, sobre todo en ausencia de oxígeno, y la formación simultánea de ácido butírico descendiendo el pH a 4.5 - 5. La presencia de la DQO en aguas residuales obedece a la composición sobre todo de su cantidad de grasa, por lo que resulta favorable separarla utilizando trampas de grasa o por medio de flotación (Gaibor Chávez, 2014).

2.5 Calidad de agua

La calidad del agua puede ser evaluada de diferentes puntos de vista, en la que nos centraremos es en lo Ambiental y es aquella que permite que haya un equilibrio en los ecosistemas por las diferentes condiciones que presentan, estas deben cumplir con objetivos de calidad ecológica abarcando las características físicas, químicas y microbiológicas. La Calidad del agua puede ser modificada por causas naturales o por medios externos que están alterando al ecosistema ya que no es parte del ciclo hidrológico causando así contaminación (Armas, 2016).

Cabe recalcar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) es parte fundamental de la calidad del agua ya que proponen estándares normativos utilizada en la producción de los alimentos al ser el recurso hídrico utilizada para los cultivos (Rodríguez, 2022).

2.6 Importancia de la calidad de agua

Es importante tener un monitoreo constante porque permite evitar las alteraciones que puede causar a los ecosistemas tanto en los sistemas físicos, químicos y microbiológicos, minimizando la contaminación sobre todo en los suelos que es donde se llega a distribuir el recurso hídrico para

diferentes actividades, en la cual si no es debidamente controlada puede causar problemas como erosión (Rodríguez, 2022).

2.7 Protección de la calidad de las aguas

Los encargados de establecer los objetivos de la calidad de las aguas se basan en función a las características del lugar o territorio en donde se vaya a hacer el caso de estudio entre ellas tenemos las siguientes medidas:

- Preventivas: son aquellas donde se encuentran zonas protegidas, estudios de evaluación de Impacto Ambiental y las planificaciones hidrológicas.
- Activas: origen de la contaminación limitada e infraestructura de depuración.
- Reactivas: régimen sancionador y la protección de los acuíferos sobreexplotados (Armas, 2016).

2.8 Parámetros de análisis de la calidad del agua

La manera más práctica para apreciar la calidad del agua es mediante resultados de laboratorios para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos que posteriormente serán evaluados para saber si se encuentran dentro de los estándares y criterios en los cuales se está trabajando, tomando en cuenta para que esta destinado el recurso hídrico (Salguero, 2016).

Parámetros Físicos: no nos determina totalmente la contaminación ya que son indicadores relativos, entre los más importantes tenemos:

- **pH:** Es la concentración del ion hidrogeno presente en el agua, misma que si se encuentra en concentraciones inadecuadas afecta la vida acuática y su proceso biológico.
- **Temperatura:** Parámetro importante en el agua residual que causa efectos sobre la solubilidad del oxígeno además de que condiciona el proceso de depuración biológico que destruye la materia orgánica y de nitrificación
- **Conductividad:** Es una expresión numérica que expresa la habilidad que esta tiene de transportar una corriente eléctrica y depende de la temperatura de muestra y la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua.
- **Turbidez:** Es la medida de dispersión de la luz por el agua, debido a la presencia de materiales coloidales y partículas alterando su calidad.
- **Color:** Este factor depende de la presencia de los desechos de diversas actividades antrópicas, que afecta a las propiedades organolépticas a la fotosíntesis de la flora acuática.
- **Olor:** Es un indicador que generalmente está asociado a restos que contengan sulfuro de hidrógeno, amoníaco, dióxido de azufre, mercaptanos, aminas e indoles que evidencian la mala calidad de agua (Gaibor Chávez, 2014).

Parámetros Químicos: son considerados los más importantes ya que define de manera clara la calidad del agua, permiten reconocer agentes responsables de la contaminación (Salguero, 2016).

Cuando no ha recibido vertidos industriales se puede analizar:

- Iones (calcio, magnesio, sulfatos, bicarbonatos, sodio y cloruros) son los más importantes.
- **DBO (demanda bioquímica de oxígeno):** Su medición permite determinar la materia orgánica biodegradable ya que representa la cantidad necesaria de oxígeno que descompondrá la materia orgánica por acción bioquímica aeróbica.
- **DQO (demanda química de oxígeno):** Su medición se emplea para determinar la fuerza orgánica de los desechos principalmente industriales, permite evaluar tanto la materia orgánica biodegradable y no biodegradable ya que analiza el O₂ necesario para oxidar a CO₂ y H₂O (Gaibor Chávez, 2014).

Existen análisis de parámetros que tienen más detalle con un fin específico o también por el grado de contaminación:

- Están los compuestos de fosfatos, nitrógeno hierro, cloro, azufre.
- Derivados del Petróleo, fenoles, detergentes, pesticidas.
- Metales pesados, fósforos orgánicos e inorgánicos, etc.

Parámetros Biológicos: presencia de microorganismos patógenos como las bacterias, protozoos, virus los cuales pueden causar múltiples enfermedades. Estas pueden ser producidas por las heces tanto del ser humano como de los animales entre los parámetros microbiológicos más comunes tenemos (Salguero, 2016):

- **Coliformes Fecales y Totales:** Las coliformes fecales son un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran mayoritariamente en los intestinos y excremento de los humanos y animales. Los coliformes totales incluyen las bacterias que se encuentran en el suelo o agua que ha sido contaminada por el agua superficial y en los desechos humanos o animales, en sí no causan enfermedades graves, son fáciles de cultivar y su presencia sirve para indicar la posible presencia de otros organismos patógenos de origen fecal (Gaibor Chávez, 2014).

2.9 Sistema de tratamiento de aguas residuales

Estos sistemas permiten minimizar la contaminación que ha sido causada por industrias, teniendo como eje principal la protección de la salud, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. Cabe recalcar que para lograr el diseño de una planta de tratamiento se debe seguir procesos implementando conocimiento de operaciones unitarias, los sistemas se clasifican en pretratamiento, tratamientos primarios, secundarios y terciarios en los cuales se mencionara posteriormente (Fúquene, 2019):.

Pretratamientos: son procesos físicos y mecánicos que permite la remoción de los contaminantes, por lo general son los que habitualmente usan para iniciar un tratamiento estos remueven los contaminantes más grandes para que pasen posteriormente al siguiente tratamiento entre ellos tenemos:

- **Desarenador:** se le ubica después de la rejilla, permite que la arena se quede acumulada en la parte inferior para que el agua vaya sin estas partículas.
- **Rejillas:** permite retener mayormente los sólidos, para que posteriormente en los otros tratamientos no puedan ocasionar daños en las maquinas.
- **Remoción de grasas:** se llega a retener por un tiempo el agua con la grasa en un tanque con diseño hidráulico para que exista la separación y así poder remover.
- **Homogenización:** es una mezcla que se realiza, mejorando el rendimiento de los sistemas de tratamiento.

Tratamientos Primarios: mediante los procesos físicos permite la remoción principalmente de Materia orgánica, Sólidos Suspendidos y también de organismos patógenos los cuales están presentes en el agua residual los principales son:

- Sedimentación
- Flotación
- Coagulación
- Neutralización
- Filtración

Tratamientos Secundarios: permiten la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) soluble y sólidos suspendidos, englobando también los procesos anaeróbicos y aeróbicos entre ellos tenemos:

- Tanque séptico
- Tanque Imhoff
- Lodos activados
- Lagunas anaerobias

Tratamientos Terciarios: es considerado como los tratamientos más avanzados, permitiendo remover nutrientes y evitando la eutrofización entre ellos tenemos:

- Adsorción en carbón activo
- Osmosis inversa
- Intercambio iónico

2.10 Índice de Biodegradabilidad

Es de vital importancia determinar el nivel de biodegradabilidad del agua residual para poder establecer el tratamiento de depuración a emplear, puesto que el nivel de biodegradabilidad se lo

puede medir utilizando el índice de biodegradabilidad, mismo que se encuentra definido por la relación entre la DBO₅ y DQO. Es fundamental conocer el nivel de contaminación del agua residual a tratar para evaluar la idoneidad de selección del tratamiento a emplear, esto debido a la complejidad del contaminante, ya que si hablamos de contaminantes orgánicos biodegradables si no se encuentran en concentraciones excesivas son de fácil remoción. Pero por otro lado si hablamos de contaminantes orgánicos no biodegradables como hidrocarburos o pesticidas los tratamientos convencionales no son óptimos para tratabilidad (Proaño & Gualoto, 2018).

2.11 Homogenización

En la gran parte de las plantas de tratamiento de aguas residuales planteadas existen variaciones en el caudal residual como en su concentración, por ello, la homogenización del caudal es esencial si se busca una mejora en los procesos establecidos para el tratamiento.

La homogenización es una operación unitaria realizada con el fin de estabilizar el caudal que puede llegar a ser variable a lo largo de la jornada de producción logrando así mantener un caudal constante, además ayuda en el mantenimiento de una mezcla homogénea de la carga de contaminante del agua residual mediante mezcladores estáticos, manuales o neumáticos (Guamán, 2016).

2.12 Trampa de Grasas

Las trampas de grasa consisten en un sistema mecánico que a través de una serie de compartimentos especiales en un tanque separa los residuos sólidos y restos de grasa del agua, evitando que avancen por la tubería y el sistema de drenaje, consiguiendo una circulación fluida sin obstrucciones y evitando así la acumulación de sustancias no deseadas. De esta forma, el agua vertida puede continuar con seguridad hacia los sistemas de evacuación y tratamiento (Romero & Jaira, 2019).

Con esta operación unitaria logramos la separación de los sólidos de gran tamaño, especialmente de material graso, presentes en el agua, mediante la colocación de varillas de acero que sólo dejan pasar el agua y no el contaminante de gran tamaño, estas varillas se limpian manualmente dado que los sistemas automáticos son muy costosos, las variables que controlan el proceso son el área de paso, la inclinación y el número de barras (Jiménez Idrovo, 2019).

Si la cantidad de aceites y grasas que presenta el agua en estudio supera los 100 mg/l como generalmente suceden en los efluentes de industrias queseras se debe de contar dentro de su tratamiento con un sistema de trampas de grasas que siguiendo las investigaciones previas de (Romero Rojas, 2005) y (Echeverry & González, 2017) se puede considerar remociones en un rango de 3-10% de DBO₅, 2-5% de DQO y de un 80-95% de grasas y aceites.

2.13 Coagulación y Floculación

La técnica de coagulación - floculación es un tratamiento químico del agua que normalmente se aplica antes de un proceso de separación física realizado por sedimentación o filtración, para mejorar la capacidad de eliminar partículas, la coagulación a través de la formación de una masa gelatinosa neutraliza las cargas y atrapa las partículas aumentando su tamaño para que puedan quedar atrapadas en el filtro o sedimento, mientras que la floculación mueve o agita suavemente dichas partículas, haciendo que se fusionen en masas más grandes que son más fáciles de asentar o filtrar (Dearmas Duarte & Ramírez Hernández, 2015). Esta técnica es estudiada a nivel laboratorio con la mencionada prueba de jarras, misma que permite determinar el nivel del reactivo a emplear que depende a su vez del agua a tratar. Para determinar su eficiencia se evalúa la turbidez como parámetro de respuesta, ya que representa la expresión de la propiedad óptica de la muestra en estudio que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta, esto puede ser causado por la presencia de partículas suspendidas o disueltas con tamaños desde coloidal hasta macroscópicas dependiendo del grado de turbulencia (Cabrera Bermúdez et al., 2009).

Los reactivos comúnmente usados para este proceso son coagulantes minerales y/u orgánicos como la sal de hierro y aluminio o polímeros orgánicos, igualmente se emplean aditivos de floculación como sílice activada, talco o carbón activado, floculantes aniónicos o catiónicos y reactivos de control del pH como ácidos o bases. En ocasiones también se emplean ciertos agentes quelantes de metales pesados (Rodríguez-Díaz et al., 2019).

Un coagulante empleado para el tratamiento de aguas con alto contenido orgánico es el Policloruro de aluminio (PAC), mismo que según estudios realizados por (Rodríguez-Díaz et al., 2019) y (Cogollo Flores, 2011) es eficiente en la disminución efectiva de la turbidez y en la remoción de DQO en un porcentaje de 70-85, de 80-90% de sólidos suspendidos totales (SST), de 85-99% de aceites y grasas y de 70-85% de sales disueltas sin alterar los límites permisibles de pH.

2.14 Decantador de Alta tasa de flujo ascendente

Los decantadores de alta tasa o de flujo laminar son aquellos que pueden tratar caudales mayores en un área y estructura menor de la que requieren los decantadores convencionales sin considerar que su eficiencia es superior y gracias a que no requieren de energía eléctrica para su operación es considerada una unidad con tecnología apropiada y de menor costo (Romero Rojas, 2005).

Su función es separar los elementos semipesados y pesados en suspensión que contienen las aguas residuales y que perjudican los tratamientos posteriores, su diferencia básica radica en que los decantadores de alta tasa trabajan con flujo laminar (número de Reynolds, $Nr < 500$), mientras que los decantadores convencionales lo hacen con flujo turbulento (Nr entre 10000 y 250000) (Guerrero Vejarano et al., 2018).

La eficiencia de un decantador se ve influenciado por el tipo, sus características de diseño y parámetros de operación, pues un decantador de alta tasa presenta una disminución del 60-70% de turbiedad, 85-95% de sólidos totales, 30-50% de DBO₅, 80-90% de sólidos sedimentables, 20-40% de DQO, 20-40% de grasas y aceites y genera un incremento de 20-40% de oxígeno disuelto en comparación de un decantador convencional según investigaciones reportadas por (Guerrero Vejarano et al., 2018) y (Llanos, 2013).

Según (Rincón et al., 2014) un decantador de alta tasa logra altas remociones de contaminantes, en compuestos orgánicos dependen en gran medida del potencial de adsorción que depende a su vez del valor de coeficiente de partición del compuesto, por lo que para los compuestos con alto nivel de hidrofobicidad se logra una alta remoción gracias a la sedimentación de sólidos solubles totales y a través de sorción con formación de partículas de lodo, lo que no sucede con compuestos hidrofílicos donde su nivel de remoción es muy bajo.

2.15 Lodos Activados

El sistema de lodos activados es un proceso aeróbico que mediante microorganismos permite la eliminación de los contaminantes razón por la cual es el más empleado en las industrias. Según (Romero Rojas, 2005) fue desarrollada en Inglaterra en el año 1914 por Andern y Lockert. Este tratamiento posee una gran adsorción de partículas suspendidas y coloidales por lo cual se le denomina con el nombre de activado, obteniendo como resultado una materia orgánica apta para descomposición biológica, misma que es convertible en materia inorgánica y cuyo sobrante es modificado en lodo activado adicional.

Dicho sistema consta de 2 procesos unidos que son un tanque de aireación y un tanque sedimentador secundario.

Tanque de aireación: Proceso aerobio mediante el cual el efluente a tratar es aireado y mezclado a lo largo del tanque de forma que exista una mezcla líquida de lodo más agua residual, suele emplear microorganismos que aeróbicamente ayudan a estabilizar la materia orgánica, fluyendo el agua ya aireada hacia el tanque sedimentador secundario. Entre varios aireadores, los difusores de tipo domo con material de cerámica, generalmente son los sistemas más utilizados para tratar aguas residuales, donde el caudal de aire requiere procesos que se encuentran en un régimen laminar, generando una eficiencia de 27-39% de Oxígeno Molecular (O₂).

Tanque sedimentador secundario: Mediante este equipo se forman flóculos biológicos que por su tamaño precipitan al fondo del tanque por gravedad, una parte del residuo generado es recirculado al funcionamiento del tanque de aireación mientras que el restante es dirigido a un sistema de disposición y tratamiento de lodos.

Los lodos activados en una industria láctea eliminan el DBO₅, restantes de aceites y grasas y sólidos suspendidos, así como la corrección del pH, permitiendo con esto que posteriormente no queden restos de lactosuero evitando así que llegue a mezclarse con el resto agua residual (Tirado Armesto et al., 2016).

Según investigaciones reportadas por (Acosta & Bazán, 2009) y (Burgos et al., 2005) tras realizar pruebas a escala de laboratorio de los lodos activados se obtuvo que existe una eficiencia de 70-80% en la remoción de DBO_5 , 10-15% de DQO, 20-35% de aceites y grasas, 20-35% de sólidos sedimentables y de 15-25% de sales disueltas.

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

La estrategia metodológica empleada en la presente investigación es de campo, puesto que nos permite extraer la información requerida por medio de la recolección de datos u observación de forma directa, dentro del entorno natural de las personas u objeto de estudio (Jiménez Idrovo, 2019). Por tanto, empleando esta metodología planteamos la obtención de información de mediciones, datos y muestras recolectadas directamente de las instalaciones de la microempresa de lácteos Digna Isabel.

También se emplea una metodología cualitativa descriptiva, centrada en el análisis de la descripción y observación de los fenómenos y objetos observados y una metodología cuantitativa que supone el planteamiento o acercamiento a la realidad objeto de estudio y a la teoría, en donde el objeto de análisis es una realidad observable, medible y que se puede percibir de manera precisa (Monje Álvarez, 2011). Esto ya que cualitativamente se estudia las características físicas, químicas y microbiológicas del efluente, y cuantitativamente se ejecuta un cálculo del caudal de descarga, el cual se emplea para el dimensionamiento de las unidades del sistema de tratamientos.

3.1.Diseño de investigación

Se plantea un diseño de campo con apoyo documental, además, de ser un proyecto de tipo experimental ya que planteamos la obtención de datos a través de la experimentación y se los compara con variables constantes, a fin de determinar las causas y/o los efectos de los fenómenos en estudio (Monje Álvarez, 2011). Mediante esto se lleva a cabo un análisis previo en laboratorio del efluente residual de la industria láctea Digna Isabel, que posteriormente será comparado con los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, libro VI, anexo 1, en su tabla 12 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”.

3.2.Técnica de recolección de datos

Para la obtención de la muestra de agua residual y medición de caudal proveniente de la microempresa láctea Digna Isabel se empleó el método de muestreo y recolección del efluente de descarga resultante de la unión del sistema de producción y lavado.

Este procedimiento consistió en medir el caudal resultante 3 días a la semana durante todo el día de fabricación para poder evidenciar la mayor, media y baja producción generada, este proceso se lo realizó durante un mes.

De igual manera se tomó muestras simples proporcionales al caudal de descarga de un día producción, esto se ejecutó dos veces en el mes en donde se recolectó 5 litros (L) y a partir de ellas en laboratorio se preparó muestras compuestas para su respectiva caracterización.

3.3. Población de estudio y tamaño de la muestra

3.3.1. Población

Microempresa Digna Isabel

Figura 1.

Mapa de ubicación de la Microempresa de lácteos Digna Isabel.



Nota: (Google Earth, 2022)

La microempresa de lácteos Diga Isabel se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo, en la parroquia San Juan específicamente en la comunidad La Delicia, en las coordenadas geográficas descritas en la Tabla 1, atraviesa el río Chimborazo que nace de la parte baja del volcán Chimborazo y desemboca en la microcuenca del río Chibunga.

Tabla 1.

Coordenadas Geográficas de la microempresa láctea Digna Isabel.

Latitud	-1.577351
Longitud	-78.7828
Altura	3 411.1179025

Nota: (Google Earth, 2022)

Entre sus principales productos de comercialización se encuentran el queso, quesillo y mantequilla, mismos que son transportado a la ciudad de Riobamba y Guayaquil para su distribución y venta.

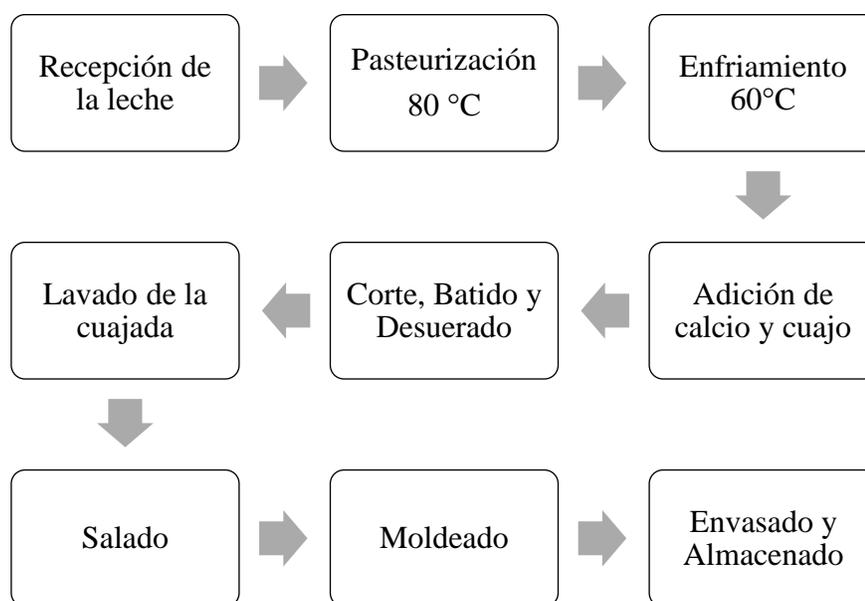
Debido a fallas en sus equipos de producción actualmente se encuentran produciendo únicamente queso y quesillo siguiendo la siguiente línea de producción:

- **Queso**

El queso es un derivado lácteo que se obtiene de la maduración de la cuajada de la leche que ha eliminado su suero, las diferentes variedades que se presentan en el mercado depende de la leche empleada, de los métodos de elaboración y del grado de madurez (Galván Díaz, 2015). La microempresa de lácteos Digna Isabel inicia su línea de producción con la recepción de 1500 L de leche diarios que lo distribuyen en la obtención de queso y quesillo, pasan a un proceso de pasteurización en donde calientan la leche en una olla pasteurizada de 800 L hasta que esta llegue a los 80 °C, posteriormente la enfrían con la adición de agua a la olla hasta que llegue a los 60 °C, se le adiciona 850 mg de calcio y 18 ml de cuajo en cada olla donde se lo mece y se deja reposando por 15 min, cuando pasa este tiempo se realiza el corte, batido y desuerado para posteriormente cuando haya madurado colocarla en la mesa donde se lo distribuye en diversos moldes para darles su forma, una vez prensado se lo coloca en los saleros durante 3 h para finalmente ser enfundados y almacenados para su distribución en las diversas tiendas que los comercializan.

Figura 2.

Proceso de producción de queso.



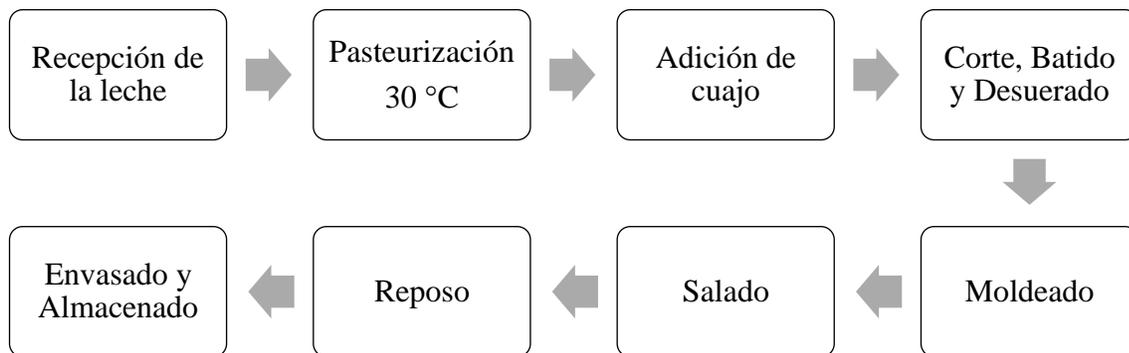
Nota: Autoras (2023)

- **Quesillo**

La combinación de productos y costumbres europeas y criollas durante la conquista española da como resultado producciones tradicionales y artesanales como el quesillo, un tipo de queso fresco blanquecino que se envasa y se consume inmediatamente, se produce durante todo el año debido a que no se madura y posee características únicas pues no posee corteza, su textura es compacta, firme y ligeramente elástica (Galván Díaz, 2015). La microempresa de lácteos Digna Isabel inicia su línea de producción con la recepción de leche donde pasa a un proceso de pasteurización a 30 °C, posteriormente se le agrega cuajo donde se lo mece y se deja reposando por 15 min, cuando pasa este tiempo se realiza el corte, batido y desuerado para posteriormente cuando haya madurado colocarla en la mesa donde se lo distribuye en diversos moldes para darles su forma, una vez prensado se lo coloca en los saleros durante 3 h para finalmente ser enfundados y almacenados para su distribución en las diversas tiendas que los comercializan.

Figura 3.

Proceso de producción de quesillo.



Nota: Autoras (2023)

3.3.2. Muestra

La muestra considerada para el presente trabajo investigativo es el efluente generado por el proceso de producción y lavado de la microempresa de lácteos Digna Isabel, misma que es sujeto de estudio y análisis que propicia el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas.

Esta muestra es recolectada del canal de salida de agua residual de la microempresa, que posteriormente se conecta con el río Chimborazo, de la cual se establece la medición del caudal

durante un mes y se recolecta 5 L del efluente del día de mayor producción para el posterior análisis en laboratorio.

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Caracterización del Agua Residual

Para la caracterización del agua residual proveniente de la microempresa de lácteos Digna Isabel, una vez obtenido las muestras simples, se elaboran las muestras compuestas en el laboratorio de ciencias ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, y se aplican los métodos físicos químicos y microbiológicos descritos en la Tabla 2, para la medición de cada parámetro se aplican técnicas metodológicas de ensaño en laboratorio.

Tabla 2.

Técnicas metodológicas de ensayo en laboratorio.

Análisis	Parámetros	Unidades	Norma	Método
Fisicoquímico	Aceites y grasa	(mg/L)	EPA 418.1	Gravimétrico
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	(mgO ₂ /L)	STÁNDAR 5210- B-METHODS	Respirométrico
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg/L)	STÁNDAR 5220- D- moodMETHODS	Fotométrico Reflujo Cerrado
	Fósforo Total	(mg/L)	STANDAR 4500 – N –E mod METHODS	Fotométrico
	Nitratos + Nitritos	(mg/L)	STANDAR 4500 – P -E mod METHODS	Fotométrico
	Potencial de hidrógeno (pH)	(7-14)	STÁNDAR 4500- H-b-METHODS	Potenciométrico
	Sólidos sedimentables	(mg/L)	STÁNDAR 2540- F-METHODS	Volumétrico
	Sólidos suspendidos Totales	(mg/L)	STÁNDAR 2540- D-METHODS	Gravimétrico
	Sólidos totales	(mg/L)	STÁNDAR 2540- D-METHODS	Gravimétrico
	Sólidos suspendidos volátiles	(mg/L)	-----	Gravimétrico

	Temperatura	°C	-----	Potenciométrico
	Turbidez	NTU	STÁNDAR 2130- B-METHODS	Nefelométrico
	Oxígeno Disuelto	(mg/L)	-----	Potenciométrico
Microbiológico	Coliforme fecales	Nmp/100 ml	Standard Total Filter Procedure	Coliform Membrane

Fuente: (Cazorla Vinueza, 2018)

Los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto se los realizó de manera *in-situ* con ayuda de un multiparámetro HQ40D, para que de esta forma no se alterase la muestra debido al tiempo que permanece el agua embotellada generando valores no reales.

3.4.2. Determinación del caudal

Se empleó el método volumétrico, ideal para determinar caudales pequeños pues se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un recipiente del que se conoce su volumen (Mariñelarena, 2006). Este proceso se lo realizó 3 veces a la semana durante todo el día de producción en el plazo de un mes, aplicando la fórmula establecida en la Ecuación 1.

Ecuación 1.

Medición del caudal por el método volumétrico.

$$Q(L/s) = \frac{V(L)}{T(s)}$$

Donde; Q: Caudal en L/s

V: Volumen del recipiente expresado en L

T; Tiempo que demora en llenarse el recipiente expresado en s

3.5. Selección y dimensionamiento

Para la selección del tipo de tratamiento que debe poseer el diseño de plantas a proponer consideramos en primera instancia la relación de biodegradabilidad (DBO₅/DQO), debido a que es esencial determinar el tratamiento de depuración, dicho índice se establece en diversos rangos descritos en la Tabla 3.

Tabla 3.*Índice de biodegradabilidad y tipo de tratamiento.*

Rango DBO ₅ /DQO	Criterio	Tipo
Menor que 0.2	No/Muy poco biodegradable	Tratamiento Físico Químico
0.2 – 0.6	Medianamente Biodegradable	Trat.Físico Químico y Biológico
Mayor que 0.6	Biodegradable	Tratamiento Biológico

Fuente: (Becerra Gutiérrez et al., 2014)

3.5.1. Prueba de jarras

Considerando lo descrito en el apartado de marco teórico se empleó la prueba de jarras con el fin establecer la dosificación más efectiva que se deberá emplear para clarificar el agua residual de la microempresa láctea "Digna Isabel", dicha prueba en laboratorio requiere de materiales, equipos, sustancias y reactivos descritos en la Tabla 4.

Tabla 4.*Materiales, equipos, sustancias y reactivos de la prueba de jarras.*

Materiales y equipos	Reactivos y sustancias
Equipo de jarras	Agua
Balón aforado de 100 ml	Policloruro de aluminio
Pipetas de 10 ml y 20 ml	Amoniaco
Vasos de precipitación de 500 ml	Agua residual láctea
Probeta graduada	
Turbidímetro	
Balanza analítica	

Fuente: (Autoras, 2023)

- *Coagulante*

Para la preparación del coagulante empleamos el policloruro de aluminio ($Al_2(OH)_3Cl$), pues produce flóculos de gran tamaño sumamente homogéneos, está alistado como coagulantes provenientes de sales de aluminio junto con el tradicional sulfato de aluminio ($Al_2(SO_3)_3$), sin embargo, tiene algunas ventajas frente a este pues posee mayor velocidad de coagulación y floculación, menor gasto de coagulante, no aporta aluminio suelto al agua, menor turbidez final en el proceso, disminuye el carbono orgánico total y tiene una alta efectividad en un amplio rango de pH e igual rendimiento con distintas temperaturas (Sáenz Roldan, 2013).

Para obtener su concentración se pesó 10 g del PAC en 30 ml de agua potable y se agitó hasta disolver, esta solución concentrada tendrá un tiempo de duración de 30 días pues posterior a este tiempo precipitará ocasionando que los resultados sean negativos, posteriormente de la solución

preparada se debe realizar una dilución de 1:10 para lo cual se tomó 10 ml de la concentración antes preparada en 100 ml de agua potable en un balón aforado.

- **Floculante**

Para la prueba se empleó un floculante aniónico esto debido a que se utilizan en la sedimentación de partículas minerales además es ideal debido al pH de la muestra del agua residual a tratar ya que se encuentra en los rangos de 7 a 14 en donde se evidencia su eficiencia (Rivas-Romero et al., 2017).

Para esto se pesó 0,5 g del reactivo y se los diluyo en 100 ml de agua compuesta de 30 ml de agua caliente y los 70 ml de agua restante fría.

Por tanto, para la técnica de prueba de jarras se siguió los siguientes pasos:

1. El equipo empleado consta de 4 agitadores por lo que se emplearon 4 vasos de precipitación, mismos que se llenaron de 500 ml de agua residual ya agitada, colocando a la misma vez el coagulante con la ayuda de pipetas con concentraciones de 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm y 20 ppm respectivamente.
2. Una vez colocado las respectivas concentraciones se deja agitar por 1 min a una velocidad de 120 rpm, y posteriormente se añade 10 ml del floculante preparado, todos a la misma vez.
3. Una vez colocado el floculante se los deja agitar por 3 min a una velocidad de 60 rpm, posteriormente se baja su velocidad a 14 rpm y se lo deja agitando por 10 min más hasta que sedimente, una vez terminando este tiempo se lo retira del equipo y se lo deja en reposo hasta que cumpla con los 30 min.
4. Una vez reposado se toma una muestra de cada vaso de precipitación para comparar la turbidez del agua con la nueva obtenida después de la prueba y de esta manera establecer su eficiencia, en caso de no obtener respuestas significativas el proceso se repite con concentraciones de coagulante aún mayor
- 5.

3.5.2. Criterios y fórmulas para el dimensionamiento del tanque homogenizador

Para el dimensionamiento se deben tomar en cuenta los criterios descritos en la Tabla 5 y aplicar las ecuaciones planteadas por (Mena et al., 2017).

Tabla 5.

Criterios de diseño para el tanque homogenizador.

Criterio de diseño	Valor
Volumen adicional de seguridad	20%
Sistema de bombeo	Bombas sumergibles
Borde libre	0.30 m

Fuente: (Mena et al., 2017)

- **Caudal de operación**

$$Q = Q_i + V_a$$

Ecuación 2

Donde:

Q: Caudal de operación (m³/h)

Q_i: Caudal inicial medido (m³/h)

V_a: Volumen adicional de seguridad (%)

- **Volumen del tanque**

$$V = Q * t$$

Ecuación 3

Donde:

V: Volumen del tanque (m³)

Q: Caudal de operación (m³/h)

t: Tiempo de llenado (h)

- **Altura del tanque**

$$H = \sqrt[3]{\frac{V}{2}}$$

Ecuación 4

Donde:

H: Altura del tanque (m)

V: Volumen del tanque (m³)

- **Diámetro del tanque**

$$B = 2H$$

Ecuación 5

Donde:

B: Largo del tanque (m)

H: Altura del tanque (m)

- **Profundidad del tanque**

$$p = H$$

Ecuación 6

Donde:

p: Profundidad del tanque (m)

H: Altura del tanque (m)

- **Área del tanque**

$$A = \frac{V}{H}$$

Ecuación 7

Donde:

A: Área del tanque (m)

V: Volumen del tanque (m³)

H: Altura del tanque (m)

3.5.3. Criterios y fórmulas para el dimensionamiento de la trampa de grasas

Para el dimensionamiento se deben tomar en cuenta los criterios descritos en la Tabla 6 y aplicar las ecuaciones planteadas por (Obeid & Ramírez, 2018).

Tabla 6.

Criterios de diseño para trampa de grasas y aceites.

Parámetros de diseño	Valor
Tiempo de retención	3 min
Velocidad ascendente	0.004 m/s
Tubería de ingreso	3 pulg.

Fuente: (Obeid & Ramírez, 2018).

- **Volumen de la trampa**

$$V = Q * t_r$$

Ecuación 8

Donde:

V: Volumen del tanque (m³)

Q: Caudal (m³/s)

t_r: Tiempo de retención (s)

- **Área superficial de la trampa**

$$A = \frac{Q}{V_a}$$

Ecuación 9

Donde:

A: Área del tanque (m²)

Q: Caudal (m³/s)

V_a: Velocidad ascendente (m/s)

- **Ancho de la trampa**

$$B = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

Ecuación 10

Donde:

B: Ancho de la trampa (m)

A: Área del tanque (m²)

- **Largo de la trampa**

$$L = 4 * B$$

Ecuación 11

Donde:

L: Largo de la trampa (m)

B: Ancho de la trampa (m)

- **Altura de la trampa**

Ecuación 12

$$H = \frac{V}{A}$$

Donde:

H: Altura de la trampa (m)

V: Volumen del tanque (m³)

A: Área del tanque (m²)

Dimensionamiento del baffle o tabique

- **Ubicación del Baffle**

$$U_b = 75\% * L$$

Ecuación 13

Donde:

Ub: Ubicación del baffle (m)

L: Largo de la trampa (m)

- **Altura del Baffle**

$$H_b = 90\% * H$$

Ecuación 14

Donde:

Hb: Altura del baffle (m)

H: Altura de la trampa (m)

- **Espacio entre Baffle y fondo**

$$E_{bf} = 10\% * H$$

Ecuación 15

Donde:

Ebf: Espacio entre baffle y fondo (m)

H: Altura de la trampa (m)

Dimensionamiento de la tubería

- **Ubicación de la tubería**

$$U_{tub} = 50\% * B$$

Ecuación 16

Donde:

Utub: Ubicación de la tubería (m)

B: Ancho de la trampa (m)

- **Altura de la tubería de entrada**

$$H_{etb} = 35\% * H$$

Ecuación 17

Donde:

Hetb: Altura de la tubería de entrada (m)

H: Altura de la trampa (m)

- **Caída de la tubería de entrada e ingreso de la tubería de salida**

$$H_{ectb}/H_{sitb} = 22\% * H$$

Ecuación 18

Donde:

Hectb/Hsitb: Caída de la tubería de entrada en ingreso de la tubería de salida (m)

H: Altura de la trampa (m).

3.5.4. Criterios y fórmulas para el dimensionamiento del decantador de alta tasa

Para el diseño del decantador de alta tasa el parámetro más empleado es la carga de sedimentación y área superficiales que es función de la carga superficial, además de que se consideran algunos criterios y ecuaciones de diseño descritos en la Tabla 7 planteada por (Rincón et al., 2014).

Tabla 7.

Criterios de diseño de sedimentadores de alta tasa.

Parámetro	Símbolo	Valor
Carga superficial	C_s	60 – 180 (m/d)
Tiempo de retención en placas	t_p	8 a 25 min.
Inclinación de placas	θ	60°
Número de Reynolds	N_{Re}	<500; <20000
Distancia entre placas	d	5 cm.
Espesor de las placas	e	6 mm
Fracción del tanque de a tasa elevada	P	<75%
Velocidad crítica de asentamiento	V_{sc}	15 – 60 m/d

Fuente: (Rincón et al., 2014)

- **Tiempo de retención en las celdas**

Ecuación 19

$$t_p = \frac{l}{V_o}$$

Donde:

tp: Tiempo de retención (s)

l: Largo de las placas (m)

Vo: Velocidad promedio del fluido (m/s)

- **Carga Superficial**

Ecuación 20

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Cs: Carga Superficial (m/s)

Q: Caudal (m³/s)

A: Área útil (m²)

- **Velocidad Promedio**

Ecuación 21

$$V_o = \frac{Q}{A * \text{sen}\theta}$$

Donde:

V_o : Velocidad promedio (m/s)

Q : Caudal (m^3/s)

A : Área útil (m)

θ : ángulo formado por las placas (recomendado 60°)

- **Número de Reynolds**

$$N_{Re} = \frac{V_o * d}{V_{sv}}$$

Ecuación 22

Donde:

N_{Re} : Número de Reynolds

V_{sv} : Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

d : Separación entre placas (m)

V_o : Velocidad Promedio del fluido (m/s)

- **Velocidad crítica de asentamiento**

$$V_{sc} = \frac{S_c * V_o}{\text{sen}(\theta) + L_c \text{cos}(\theta)}$$

Ecuación 23

Donde:

V_{sc} : Velocidad crítica de asentamiento (m/s)

S_c : Eficiencia para decantadores de placas paralelas ($S_c:1$)

V_o : Velocidad promedio del fluido (m/s)

L_c : Longitud relativa efectiva de decantación (m)

θ : Ángulo formado por las placas, recomendado en la tabla 5.

- **Longitud relativa efectiva en flujo laminar**

Ecuación 24

$$L_c = (l/d) - 0.013N_{RE} \text{ [adim] si } (l/d) - 0.013N_{RE} \geq 0$$

Ecuación 25

$$L_c = (1/2)(l/d) \text{ si } (l/d) - 0.013N_{RE} < 0$$

Donde:

L_c : Longitud relativa efectiva de decantación en flujo laminar (m)

l : Largo de las placas (m)

l : Separación entre placas (m), recomendado en la tabla 5.

N_{Re} : Número de Reynolds definido en la ecuación 12.

- **Tiempo de retención en el tanque decantador**

Ecuación 26

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{A * d}{Q}$$

Donde:

t : Tiempo de retención en el tanque decantador (s)

V : Volumen de la cámara (m^3)

Q: Caudal (m³/s)

A: Área útil de sedimentación de alta tasa (m²)

d: Separación entre placas (m)

- **Ancho del decantador**

Ecuación 27

$$W_s = \frac{1}{2} L_s$$

Donde:

Ws: Ancho del decantador (m)

Ls: Largo del decantador (m)

Se considera el ancho de cada placa igual al ancho de la unidad decantadora:

Ecuación 28

$$W_{sp} = W_s$$

Donde:

Wsp: Ancho de cada placa (m)

Ws: Ancho de la unidad de decantador (m)

- **Largo del decantador**

Ecuación 29

$$L_s = \sqrt{2 * A}$$

Donde:

Ls: Largo del decantador (m)

A: Área útil (m²)

- **Altura del decantador**

Ecuación 30

$$H_s = \frac{1}{p} l \text{sen} \theta$$

Donde:

Hs: Altura del decantador (m)

P: Fracción del tanque a tasa elevada (%)

l: Largo de las placas (m)

θ: ángulo de inclinación de las placas

- **Volumen del decantador**

Ecuación 31

$$V_s = AH_s$$

Donde:

Vs: Volumen del decantador (m³)

A: Área útil (m²)

Hs: Altura del decantador (m)

- **Altura correspondiente a alta tasa**

Ecuación 32

$$H_{alta\ tasa} = PH_s$$

Donde:

H_{alta tasa}: Altura de la alta tasa (m)

P: Fracción del tanque a tasa elevada (%)

H_s: Altura del decantador (m)

- **Volumen de la alta tasa**

Ecuación 33

$$V_{alta\ tasa} = AH_{alta\ tasa}$$

Donde:

V_{alta tasa}: Volumen de la alta tasa (m³)

A: Área útil (m²)

H_{alta tasa}: Altura de la alta tasa (m)

- **Número de placas**

Ecuación 34

$$N = \frac{L_s * \text{sen}\theta + d}{d + e}$$

Donde:

N: Número de placas planas (unidades)

L_s: Largo del sedimentador (m)

d: Separación entre placas (m)

e: Espesor de las placas (m)

θ: Ángulo formado por las placas

3.5.5. Criterio y fórmulas para el dimensionamiento del sistema de lodos activados

Tanque de aireación

Tabla 8.

Criterios de diseño del tanque de aireación.

Parámetro	Valor
Difusor	Tipo domo de burbujas finas (2-5 mm).
Material	Cerámica
Régimen	Régimen Laminar (0 < N _{Re} < 200)
Volumen	Estimar un adicional del 10% del calculado
Borde libre	0.30 m.
Ssv licor de mezcla	2000 (mg/l)

Fuente: (Mena et al., 2017)

- **Tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación**

Ecuación 35

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

Donde:

Tr: Tiempo de retención (s)

V: Volumen del tanque de aireación (m³)

Q: Caudal del agua residual (m³/s)

- **Caudal de recirculación**

$$Q_r = \frac{Q * X}{X_r - X}$$

Ecuación 36

Donde:

Qr: Caudal de recirculación (m³/s)

Q: Caudal del agua residual (m³/s)

X: SSV licor de mezcla (mg/L)

Xr: Sólidos de recirculación (mg/L)

- **Sólidos de recirculación**

$$X_r = \%SSv * S_{te}$$

Ecuación 37

Donde:

Xr: Sólidos de recirculación (mg/L)

%SSv: % de Sólidos suspendidos volátiles

Ste: Sólidos totales del efluente (mg/L)

- **Caudal total de ingreso**

$$Q_T = Q_i * Q_r$$

Ecuación 38

Donde:

QT: Caudal total (m³/s)

Qi: Caudal de ingreso (m³/s)

Qr: Caudal de recirculación (m³/s)

- **Volumen usado**

$$V = Q_T * T_r$$

Ecuación 39

Donde:

V: Volumen usado (m³)

QT: Caudal total (m³/s)

Tr: Tiempo (s)

- **Altura del tanque**

$$V = 2h^3$$

Ecuación 40

$$h = \sqrt[3]{\frac{V}{2}}$$

Donde:

V: Volumen usado (m³)

h: Altura del tanque (m)

- **Largo y profundidad del tanque**

$$a = 2h$$

Ecuación 41

$$p = h$$

Ecuación 42

Donde:

a: Largo del tanque (m)

h: Altura del tanque (m)

p: Profundidad del tanque (m)

- **Ancho del tanque**

$$B = \sqrt{A}$$

Ecuación 43

Donde:

B: Ancho del tanque (m)

A: Área del tanque (m²)

- **Área del tanque**

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

Ecuación 44

Donde:

A: Área del tanque (m²)

V: Volumen usado (m³)

h: Altura del tanque (m²)

Tanque sedimentador secundario

El objetivo de este tanque es precipitar los materiales producidos (lodos) por el tratamiento biológico, permitiendo que una parte de los lodos recircule al tanque de aireación ya que posee bacterias aerobias degradadoras la cual se necesita para tratar el agua. Para su diseño se considera los criterios establecidos en la Tabla 9 por (Mena et al., 2017).

Tabla 9.

Criterios de diseño del tanque sedimentador secundario.

Parámetro	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulica	H	2
Borde libre	M	0.30

Fuente: (Mena et al., 2017)

- **Volumen del tanque**

$$V = Q * T_r$$

Ecuación 45

Donde:

V: Volumen (m³)

Q: Caudal del efluente (m³/s)

Tr: Tiempo de retención (s)

- **Altura del tanque**

$$V = 2h^3$$

Ecuación 46

Donde:

V: Volumen usado (m³)

h: Altura del tanque (m)

- **Largo y profundidad del tanque**

$$a = 2h$$

Ecuación 47

$$p = h$$

Ecuación 48

Donde:

a: Largo del tanque (m)

h: Altura del tanque (m)

p: Profundidad del tanque (m)

- **Diámetro del tanque**

$$B = \sqrt{A}$$

Ecuación 49

Donde:

B: Ancho del tanque (m)

A: Área del tanque (m²)

- **Área del tanque**

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

Ecuación 50

Donde:

A: Área del tanque (m²)

V: Volumen usado (m³)

h: Altura del tanque (m²)

3.6. Validación de la eficiencia

La validación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas es estimada con los datos obtenidos de los análisis de aguas realizado en laboratorio previo al tratamiento y mediante referentes teóricos en función del porcentaje de remoción de los contaminantes de cada unidad de proceso seleccionado y dimensionado.

Es decir, su eficiencia es considerada por el porcentaje de remoción que presentan los equipos establecidos en el presente diseño de plantas de tratamiento en estudios anteriores, evidenciando la minimización de los valores obtenidos en el previo análisis de los parámetros en laboratorio con los estimados a obtener y poder así compararlos con el máximo permisible establecido en la normativa.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis en laboratorio del agua residual

De la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual proveniente de la fase de producción y lavado de la microempresa de lácteos “Digna Isabel”, se expone los siguientes datos obtenidos en laboratorio descritos en la Tabla 10.

Tabla 10.

Caracterización del agua residual de la microempresa de lácteos "Digna Isabel".

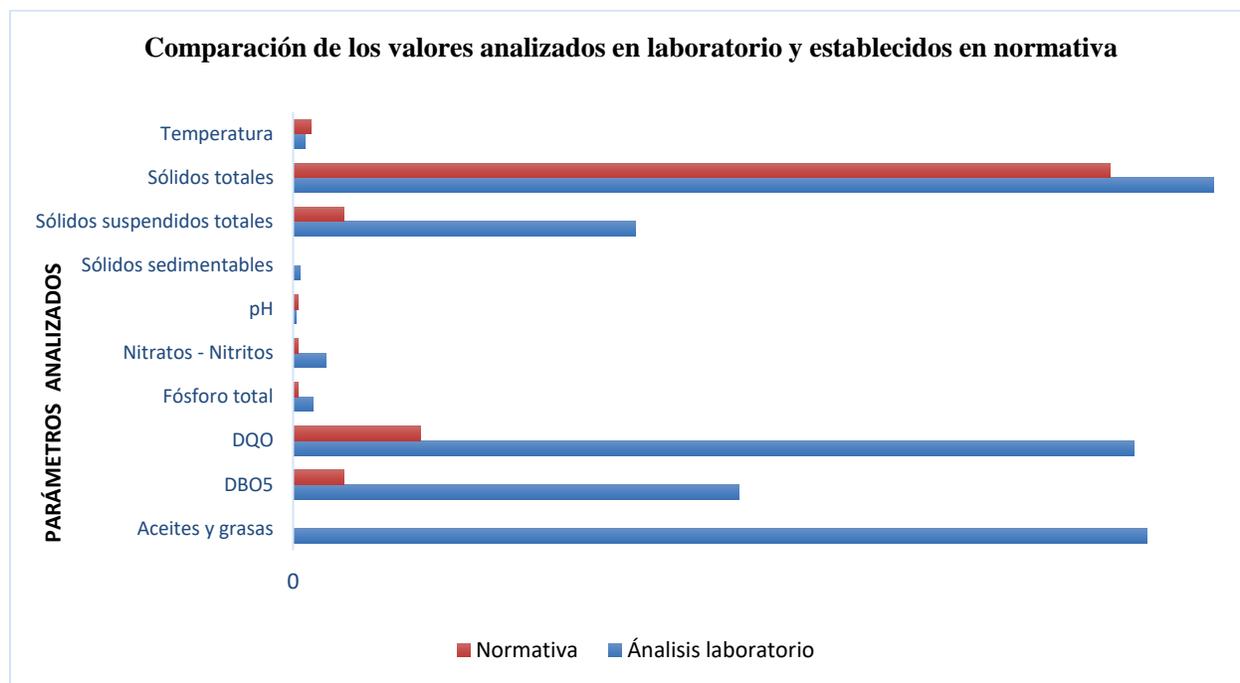
Parámetros	Unidades	Norma	Laboratorio	Criterio
Análisis Físico – Químico				
Aceites y grasa	mg/L	0.3	1673	No cumple
DBO ₅	mgO ₂ /L	100	873.1	No cumple
DQO	mg/L	250	1647	No cumple
Fósforo Total	mg/L	10	40	No cumple
Nitratos + Nitritos	mg/L	10	64.7	No cumple
pH		5-9	6.12	Cumple
Sólidos sedimentables	mg/L	1	14	No cumple
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	100	670	No cumple
Sólidos totales	mg/L	1.600	1814	No cumple
Temperatura	°C	<35	23.7	Cumple
Turbidez	NT		578.67	
Oxígeno Disuelto	mg/L		0.51	
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L		0.6922	
Análisis Microbiológico				
Coliforme fecales	Nmp/100 ml	Remoción >99.9%	0	Cumple

Fuente: Autoras (2023)

De los once parámetros analizados en laboratorio del agua residual de la microempresa de lácteos “Digna Isabel” se evidenció que apenas 3 cumplen con el máximo permisible establecido en la normativa aplicada, siendo estos el pH, la temperatura y los coliformes fecales, los restantes evidencian concentraciones elevadas de contaminante. La evidencia de los valores obtenidos se debe a que el agua residual de industrias lácteas en especial las que se dedican a la elaboración de quesos produce aguas con elevada presencia de aceites y grasas además de un alto contenido de carga orgánica que se evidencia en sus valores altos de DQO, DBO₅ y sales (Villena, 2012). Para visualizar su comparación se realizó una figura de barras de doble entrada que contiene los valores obtenidos en laboratorio con los establecidos en normativa expuestos en la Figura 4.

Figura 4.

Comparación de los valores analizados en laboratorio y establecidos en normativa.



Nota: Autoras (2023)

4.2 Caudal residual

Aplicando la metodología planteada durante el plazo establecido se obtuvo los siguientes datos de caudal y volumen, esenciales para el cálculo y dimensionamiento de los equipos de tratamiento de aguas residuales de la fase de producción y lavado de la microempresa de lácteos “Digna Isabel”.

Los resultados obtenidos se basan en el caudal mínimo, medio y máximo analizados además del volumen y tiempo total durante la toma *in-situ* mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11.

Registro del caudal mínimo, medio y máximo aplicando el método volumétrico.

	Caudal Mínimo	Caudal Medio	Caudal Máximo
Volumen (L)	20	20	20
Promedio de tiempo de llenado (s)	336	108	50
Caudal calculado (L/s)	0.059	0.185	0.345

Caudal calculado (m ³ /h)	0.2124	0.666	1.242
--------------------------------------	--------	-------	-------

Fuente: Autoras (2023).

Debido a que los eventos de caudal son repetitivos a lo largo de la jornada de producción se registró el tiempo de ocurrencia de estos permitiéndonos así calcular un volumen total de 2511.54 L (2.512 m³) y un tiempo total de 23031 s (6.39 h), valores esenciales a considerar para el cálculo de las fases de tratamiento propuestas.

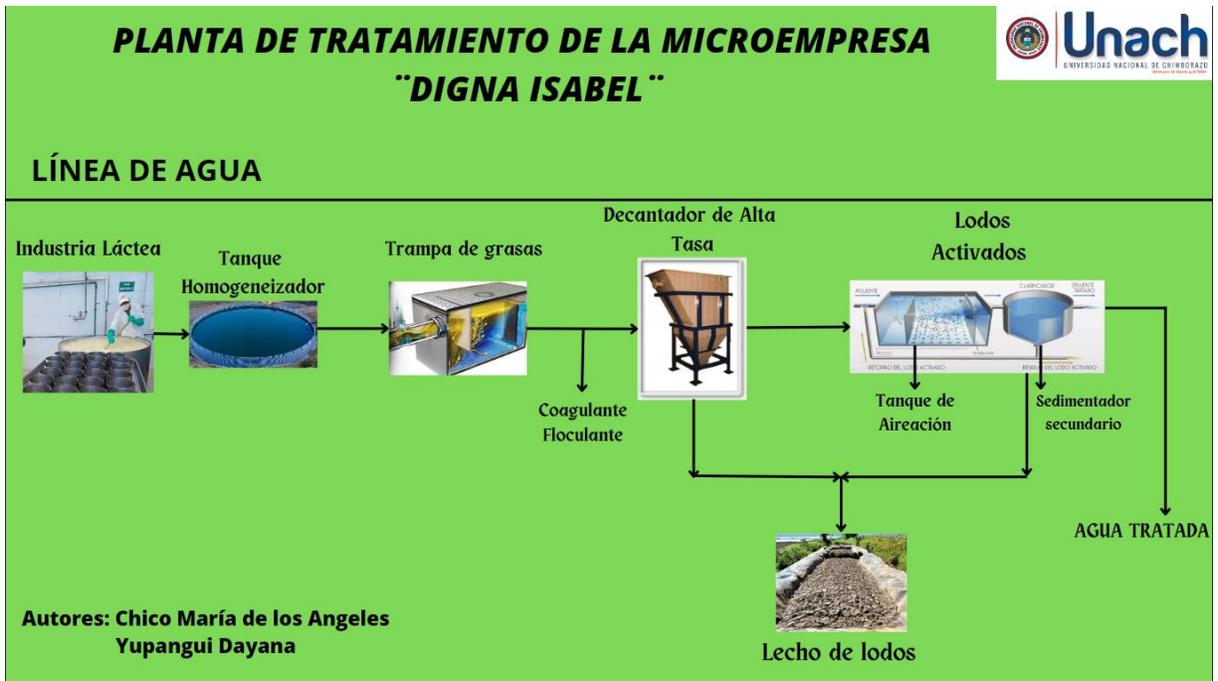
4.3 Selección de las fases y equipos para el tratamiento de aguas

De la relación de biodegradabilidad (DBO₅/DQO) realizada con los datos obtenidos en laboratorio se obtuvo un valor de 0.53 lo que nos indica según la tabla 3 un índice medianamente biodegradable y para el cual nos planteamos un sistema de tratamientos que contenga fases fisicoquímicas y biológicas que ayuden a disminuir el excedente de contaminantes detectados en el agua.

La propuesta de diseño de la planta de tratamiento para la microempresa de lácteos “Digna Isabel” visualizada en la Figura 5, contará en su principio con un tanque homogeneizador ya que la variabilidad de las descargas hace que el proceso sea complejo, permitiéndonos con este equipo amortiguar las variaciones del caudal, su pH y concentración de las descargas, además gracias a su sistema de agitación evitará que se sedimenten las partículas mientras el tanque se llena, dando paso al equipo de trampa de grasas que se encargará de remover en su mayoría el contenido de aceites y grasas del agua y en pequeñas cantidades el DQO y DBO₅, el agua tratada pasara por un sistema de tuberías a un decantador de alta tasa, pero antes de ingresar al equipo se adherirá el coagulante (PAC) y el floculante aniónico en las dosificaciones calculadas que ayudaran en la disminución efectiva de turbidez, DQO, sólidos suspendidos totales (SST) además de sales disueltas como fósforo, nitritos y nitratos y restos de aceites y grasas, cuando ingrese al decantador de alta tasa se logrará la remoción de altos contenidos de sólidos totales (ST), sólidos sedimentables (SS), DBO₅, DQO, aceites y grasas y turbiedad además de que generará un incremento en el oxígeno disuelto. Por último, pasará por un sistema de lodos activados que consta de un tanque aireador y un sedimentador secundario que logrará la eficiente remoción de los restantes de aceites y grasas y sales disueltas, así como DBO₅, DQO y sólidos sedimentables (SS) que puede todavía contener el agua en tratamiento, además de una corrección en el pH y un manejo adecuado del lactosuero resultante.

Figura 5.

Propuesta de planta de tratamientos para la microempresa de lácteos "Digna Isabel".



Nota: Autoras (2023)

4.4 Dimensionamiento de los equipos del sistema de tratamientos

4.4.1. Prueba de Jarras

Aplicando la metodología con los reactivos mencionados para coagulante y floculante hemos obtenido los resultados en laboratorio descritos en la Tabla 12.

Tabla 12.

Resultados de la prueba de jarras empleando Coagulante (PAC) y Floculante aniónico.

# de vaso con capacidad de 500 ml	pH de agua residual	Dosificación de PAC de 10% (ppm)	Dosificación al floculante al 5% (ml)	Tiempo de reposo (min)	Turbidez del agua residual (NTU)	Turbidez del agua tratada (NTU)
1	6.12	5	1	30	578.67	78.27
2	6.12	10	1	30	578.67	28.97
3	6.12	15	1	30	578.67	21.3
4	6.12	20	1	30	578.67	36.13

Fuente: (Autoras, 2023)

Manteniendo un pH de 6.12 durante todo el proceso y con la adición de 15 ppm de policloruro de aluminio (PAC) como coagulante y 1 ml de floculante aniónico en una muestra de 500 ml de agua residual agitadas a diversas velocidades por 30 minutos podemos evidenciar una considerable disminución de la turbiedad registrada, además de visualmente notar una claridad en su apariencia como se evidencia en la Figura 6 y Figura 7.

Figura 6.

Muestra de agua residual de la fase de producción y lavado de la microempresa de lácteos "Digna Isabel".



Nota: Autoras (2023)

Figura 7.

Muestra de agua analizada después del proceso de prueba de jarras.



Nota: Autoras (2023)

Sin embargo, para considerarla como efectiva se estimó los valores de laboratorio con los registrados en la microempresa en referencia a los costos que llevará su operación en la zona industrial obteniendo lo descrito en la Tabla 13.

Tabla 13.

Costos de operación para coagulante y floculante.

Coagulante: Policloruro de Aluminio (PAC)					
Dosificación para 500 ml de muestra (ppm)	Dosificación para el volumen máximo total de producción diaria (ppm)	Gramos empleados en lapso de 20 días (kg)	Costo por 250 kg en	Costo por 20 días de uso	
5	6130	0.62	\$224.00	\$0.56	
10	12260	2.46	\$224.00	\$2.21	
15	18390	5.58	\$224.00	\$4.99	
20	24520	9.82	\$224.00	\$8.80	
Floculante aniónico					
0.5 ml	306 ml	3.06 kg	\$149.00	\$1.83	

Fuente: (Autoras, 2023)

Si se analiza la proporción del coagulante que evidenció la mayor eficiencia (15 ppm) y se la relaciona con el volumen máximo de agua diario que produce la empresa (2511.54 L) se estima está ocupará en un lapso de 20 días 5.58 Kg de PAC si se considera el precio de \$224.00 establecido por (Hogar Verde, 2022) para cada 250 Kg de PAC su costo en el lapso establecido sería de \$4.99, se adiciona el costo del floculante para el mismo volumen y plazo de \$1.83 considerando el precio establecido por (Agrizon, 2022) donde cada 250 Kg tiene un valor de \$149.00. Por tanto, el tratamiento en 20 días equivaldría un costo aproximado de \$6.82 lo que vuelve a la dosificación de 15 ppm eficiente y viable para ejecutarla como parte de la planta de tratamientos.

4.4.2. Dimensionamiento del tanque homogeneizador

Se ha propuesto iniciar el sistema de tratamientos con la colocación de un tanque homogeneizador debido a que las descargas de agua residual son discontinuas y este equipo permitirá tener un caudal constante que evitará problemas posteriores en el continuo tratamiento.

Se recomienda construir sus paredes en hormigón, las tuberías y accesorios en PVC e incluir un agitador de paletas de acero inoxidable que permita una mezcla continua del agua.

Aplicando la metodología propuesta se obtuvo los siguientes resultados descritos en la Tabla 14 y mediante el sistema de modelado Sketchup se lo puedo visualizar en la Figura 8.

Tabla 14.

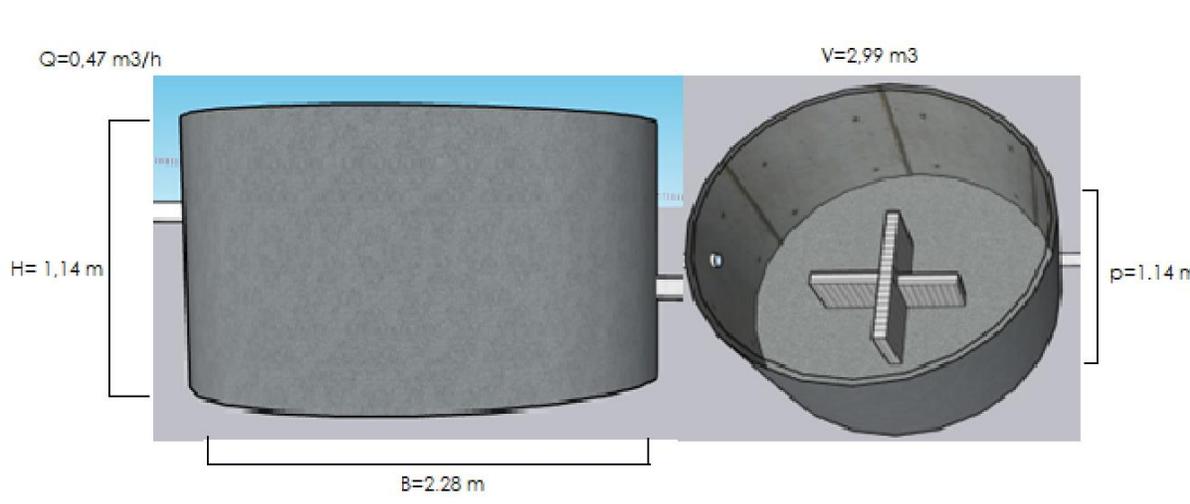
Dimensionamiento del tanque homogeneizador.

Factor	Unidad	Valor
Caudal de operación	m ³ /h	0.468
Volumen del tanque	m ³	2.99
Altura del tanque	m	1.14
Diámetro del tanque	m	2.28
Profundidad del tanque	m	1.14
Área del tanque	m ²	2.62

Fuente: (Autoras, 2023)

Figura 8.

Dimensiones del tanque homogeneizador.



Nota: Autoras (2023)

4.4.3. Dimensionamiento de la trampa de grasas

Un sistema de trampa de grasas y aceites es esencial en el presente diseño de plantas debido a las características del agua, su forma será rectangular y se recomienda construirlo en hormigón con accesorios y tuberías en PVC y baffles en acero inoxidable.

Su caudal de ingreso es estimado en relación a lo especificado en la norma RAS 2000 donde se establece que para tuberías de ingreso de 3' ($\theta: 75 \text{ mm}$) recorre caudales de 2 L/s en un tiempo de retención de 3 min. (Obeid & Ramírez, 2018)., partiendo de esta especificación se obtuvo los resultados descritos en la Tabla 15 y mediante el sistema de modelado Sketchup se lo puede visualizar en la Figura 9.

Tabla 15.

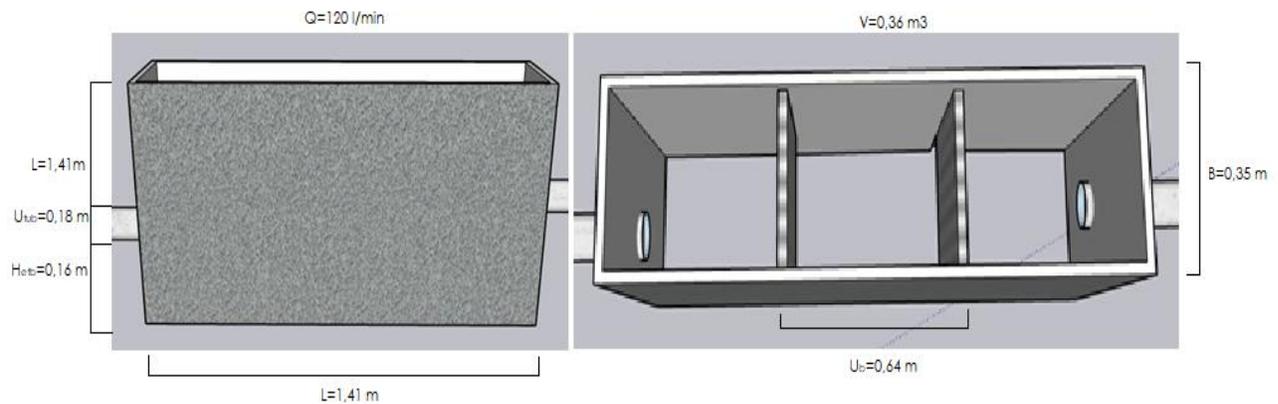
Dimensionamiento de la trampa de grasas.

Factor	Unidades	Valor
Caudal	L/min	120
Tiempo de retención	min	3
Volumen de la trampa	m ³	0.36
Área superficial de la trampa	m ²	0.5
Ancho de la trampa	m	0.353
Largo de la trampa	m	1.412
Altura de la trampa	m	0.72
Ubicación del baffle	m	1.059
Altura del baffle	m	0.648
Espacio entre baffle y fondo	m	0.072
Ubicación de la tubería	m	0.1765
Altura de la tubería de entrada	m	0.252
Caída de la tubería de entrada e ingreso de la tubería de salida	m	0.1584

Fuente: (Autoras, 2023)

Figura 9.

Dimensiones de la trampa de grasas.



Nota: Autoras (2023)

4.4.4. Dimensionamiento del decantador de alta tasa

El decantador de alta tasa es esencial en el sistema de tratamiento de aguas ya que, además de las funcionalidades específicas que posee, gracias a su proceso sedimentador es primordial después de la agregación de coagulante y floculante.

Se sugiere construirlo en acero inoxidable con tuberías y accesorios en PVC, se recomienda que los lodos generados sean extraídos del equipo de manera manual con la finalidad de reducir costos y darle otro uso al residuo generado, estos lodos podrán precipitar fácilmente gracias al ángulo de inclinación que poseen sus placas y podrán ser transportados por tuberías de diámetros no menores a 25 cm. Aplicando la metodología propuesta se obtuvieron los resultados descritos en la Tabla 16 y mediante el sistema de modelado Sketchup se lo puedo visualizar en la Figura 10.

Tabla 16.

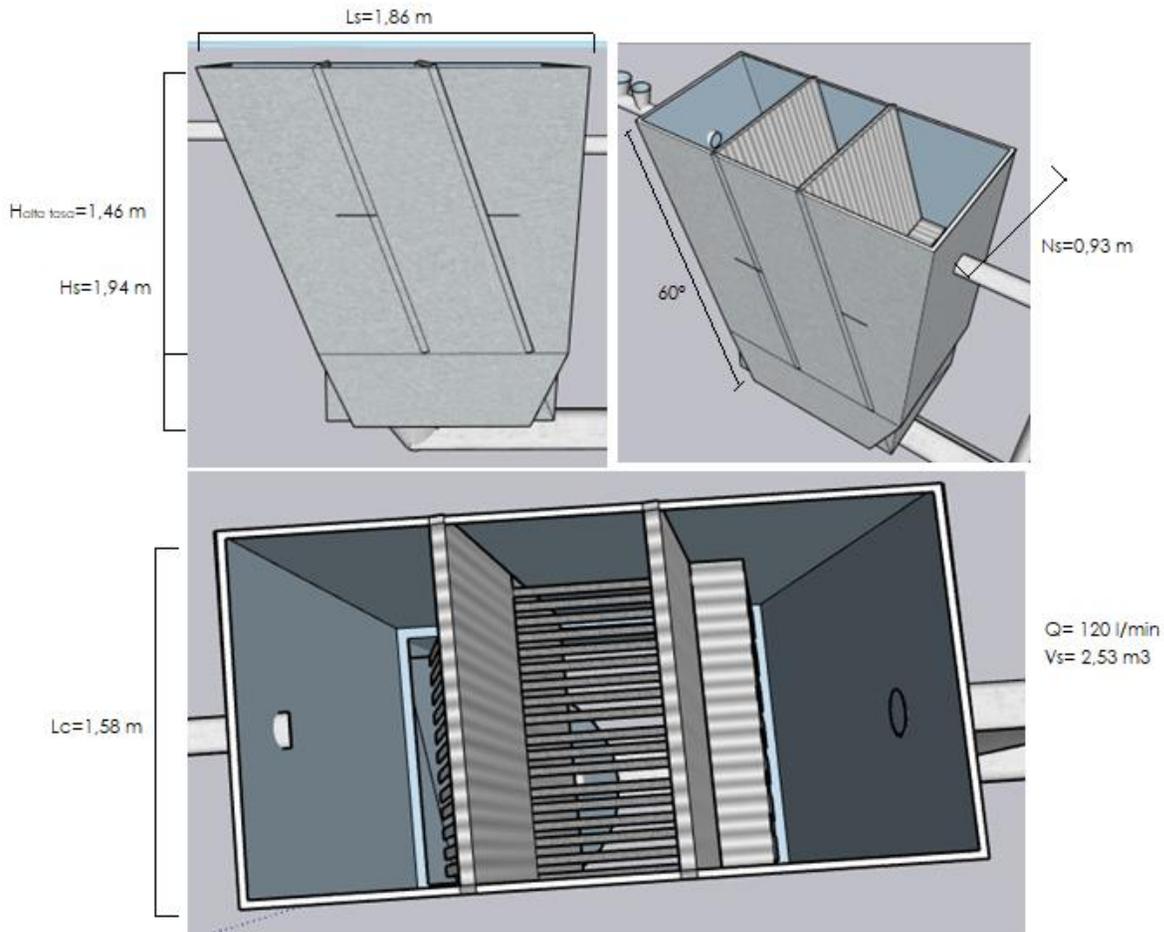
Dimensionamiento del decantador de alta tasa.

Factor	Unidades	Valor
Caudal	L/min	120
Tiempo de retención en el tanque	h	0.013
Tiempo de retención de las placas	h	0.35
Área útil	m ²	1.73
Ancho del decantador	m	0.93
Largo del decantador	m	1.86
Altura del decantador	m	1.94
Volumen del decantador	m ³	3.36
Altura alta tasa	m	1.46
Volumen alta tasa	m ³	2.53
Largo de las placas	m	1.58
Numero de Reynolds	---	74.81
Velocidad promedio	m/h	4.81
Velocidad crítica de asentamiento	m/h	0.28
Longitud relativa efectiva del flujo laminar	---	32.63
Número de placas	unidades	2
Inclinación de las placas		60°

Fuente: (Autoras, 2023)

Figura 10.

Dimensionamiento del decantador de alta tasa.



Nota: Autoras (2023)

4.4.5. Dimensionamiento del sistema de lodos activados

El sistema de lodos activados es esencial por su nivel biológico de tratabilidad, constituye 2 unidades de operación unitaria, la primera acciona mediante oxígeno administrado por difusores de burbuja fina y en otra proporción por la acción del *Lactobacillus spp.* como principal bacteria ácido-láctica aerotolerante proveniente de dicha agua que degrada en cierto porcentaje los restos de contaminantes presentes, y una segunda unidad que sedimenta los lodos generados y entrega un agua con el menor excedente de nutrientes contaminantes, generando como subproducto lodos con alto contenido orgánico.

Se sugiere construirlo en hormigón, tubería en PVC y difusores de cerámica tipo domo de burbuja fina. Aplicando la metodología propuesta se obtuvieron los resultados descritos en la Tabla

17 y mediante el sistema de modelado Sketchup se lo puedo visualizar en la Figura 11 y Figura 12.

Tabla 17.

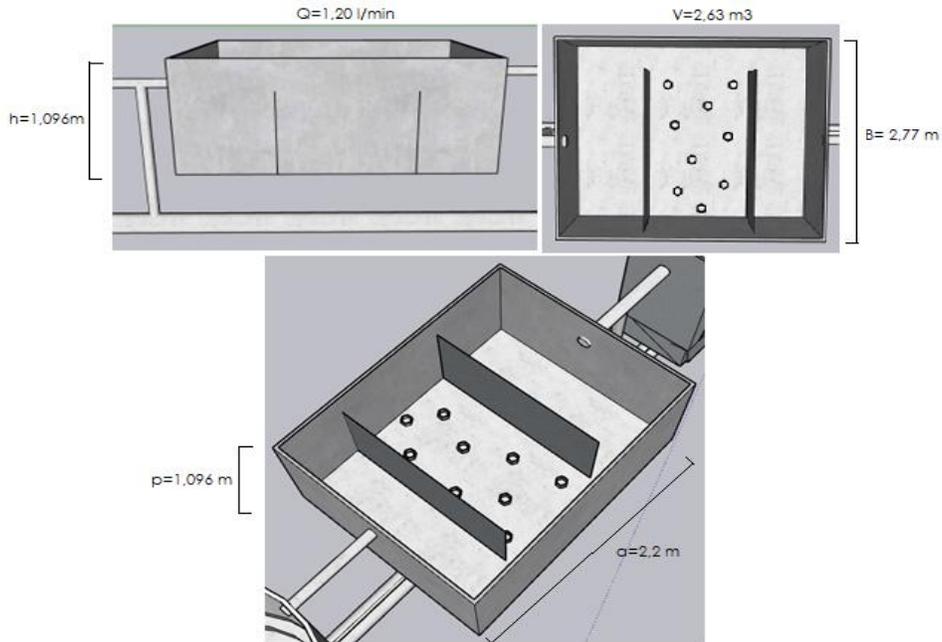
Dimensionamiento del sistema de lodos activados.

Tanque de aireación		
Factor	Unidades	Valor
Caudal de ingreso	L/min	120
Tiempo de retención	h	2
Caudal de recirculación	m ³ /h	1.051
Sólidos de recirculación	mg/L	15702.4
Caudal de operación	m ³ /h	7.5
Volumen usado	m ³	2.63
Altura del tanque	m	1.096
Largo del tanque	m	2.2
Profundidad del tanque	m	1.096
Área del tanque	m ²	7.65
Ancho del tanque	m	2.77
Tanque Sedimentador		
Factor	Unidades	Valor
Caudal	L/min	120
Tiempo de retención	h	0.35
Volumen del tanque	m ³	2.51
Altura del tanque	m	1.078
Diámetro del tanque	m	2.16
Profundidad del tanque	m	1.078
Área del tanque	m ²	2.33

Fuente: (Autoras, 2023)

Figura 11.

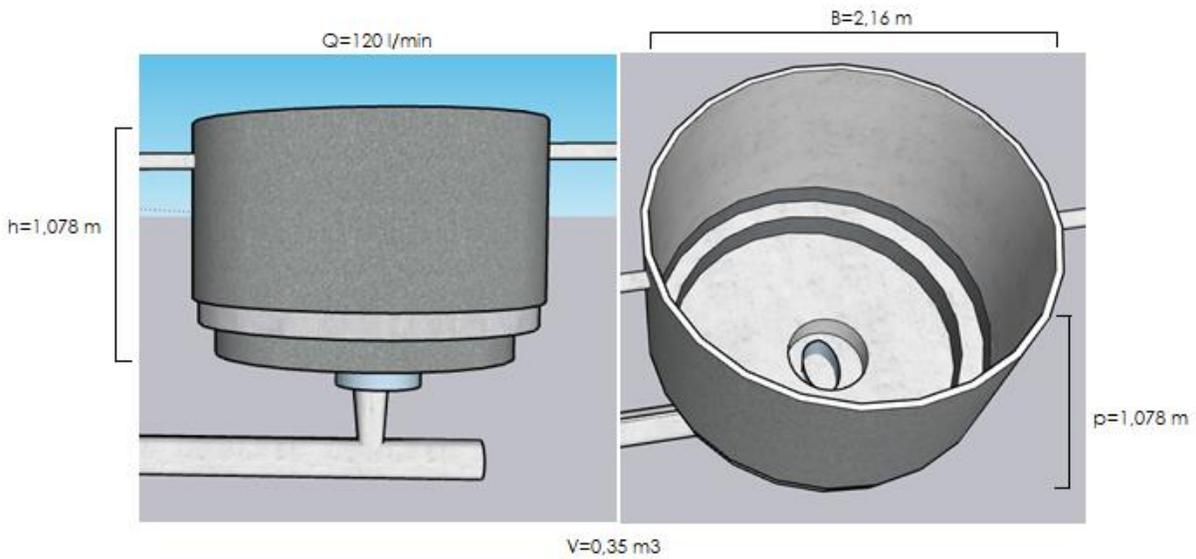
Dimensionamiento del tanque de aireación.



Nota: Autoras (2023)

Figura 12.

Dimensiones del tanque sedimentador.



Nota: Autoras (2023)

4.4.6. Presupuesto estimado

Se estableció un presupuesto para la implementación de la planta de tratamiento referido a instalaciones ya realizadas en otros estudios, sus valores serán distribuidos dependiendo del material y accesorios que requiera el equipo, dichos valores son detallados en la Tabla 18.

Tabla 18.

Presupuesto para la implementación de la planta de tratamiento.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Excavación y recolección del material	m ³	143	6.00	858.00
Hormigón f'c 210 kg/cm ² y enconfrado	m ³	32	120.00	3840.00
Hormigón replantillo f'c 180 kg/cm ² (e=5cm)	m ³	17	70.00	1190.00
Acero de refuerzo (e=12mm)	Qq	25	50.00	1250.00
Tubería PVC-D-75mm	M	12	35.40	424.80
Codo PVC-D 110mm	U	7	4.50	31.50
Válvula de compuerta (110mm)	U	5	76.23	381.15
Tee PVC-D 110mm	U	5	4.69	23.45
Reducción PVC-D 160-110 mm	U	5	12.77	63.85
Difusores de cerámica				
Burbuja fina de 9''	U	8	35.00	280.00
Coagulante y floculante				
PAC	kg	250	0.90	225.00
Aniónico	kg	250	0.60	150.00
Eras de secado				
Arena	m ³	15	10.00	150.00
Grava	m ³	10	10.00	100.00
Mano de obra				
Albañil (jefe)	-	3	180.00	540.00
Albañil (asistente)	-	3	100.00	300.00
Subtotal				9807.75
Imprevistos (30%)				2942.33
Total				12750.08

Fuente: (Autoras, 2023)

4.5. Estimación de la eficiencia de los equipos

4.5.1 Trampa de grasas

Considerando las eficiencias establecidas para la trampa de grasas en el libro investigativo de (Romero Rojas, 2005) titulado “Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño”, estimamos la remoción de un 95% de grasas y aceites reduciendo el valor de 1673 mg/L del previo análisis en laboratorio realizado al agua sin tratamiento a un 83.65 mg/L del contaminante. Así mismo consideramos un 5% de remoción de DBO₅ que refleja la disminución de 873.1 mgO₂/L a 829.5 mgO₂/L. Finalmente un 3% de remoción de DQO que va de 1647 mg/L a 1597.6 mg/L.

Por el momento ninguno de los parámetros analizados llega a cumplir con la normativa establecida para este estudio.

4.5.2 Coagulación – Flocculación

Del trabajo investigativo realizado por (Rodríguez-Díaz et al., 2019) titulado “Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en tratamiento de aguas industriales” se estimaron los siguientes porcentajes de remoción iniciando con el 75.79% de DQO dándonos una disminución de 1597.59 mg/L valor resultante del tratamiento anterior a un 386.8 mg/L. El 86.21% de remoción de SST reflejando el descenso de 670 mg/L a 92.4 mg/L que siguiendo la normativa aplicada cumpliría con lo establecido. Para aceites y grasas se estimó un 98.8% de remoción que evidencia la disminución de un valor de 83.65 mg/L a 1.01 mg/L una reducción igualmente significativa. Finalmente, un 80% de sales disueltas entre las que predominan fósforo, nitritos y nitratos que evidencia la remoción de 51.76 mg/L.

Con la segunda fase de tratamiento podemos constatar que apenas los sólidos suspendidos totales (SST) llegarían a cumplir con la normativa aplicada, los demás parámetros analizados solo tendrán reducciones significativas por el momento.

4.5.3 Decantador de alta tasa

Del esquema metodológico realizado por (Guerrero Vejarano et al., 2018) titulado “Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente”, describe como un decantador de alta tasa presenta una disminución del 93% de sólidos totales (ST), 40% de DBO₅, 90% de sólidos sedimentables (SS), 30% de DQO, 50% de grasas y aceites. Partiendo de estas estimaciones si las relacionamos con los valores obtenidos del análisis en laboratorio y de los ya estimados en las 2 fases de tratamiento anteriores logramos que de un valor de 1814 mg/L de ST se disminuya a 126.98 mg/L valor que cumple con la normativa establecida en el presente estudio. De 829.5 mgO₂/L valor de remoción estimado en la trampa de grasas a 497.7 mgO₂/L. De 14 mg/L de SS se remueva a 1.4 mg/L. De 386.8 mg/L de DQO resultante de las 2 fases de tratamiento anteriores a 270.8 mg/L. Finalmente de 1.01 mg/L de aceites y grasas se estima disminuirá a 0.5 mg/L.

En esta fase únicamente cumple con la normativa establecida la remoción de ST, los demás parámetros disminuyen únicamente su concentración.

4.5.4 Sistema de lodos activados

Del trabajo experimental en laboratorio realizado por (Acosta & Bazán, 2009) titulado “Eficiencia de un sistema de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea de Cajamarca” propone eficiencias del 80% de remoción de DBO₅, 13% de DQO, 35% de aceites y grasas, 30% de sólidos sedimentables (SS) y un 25% de sales disueltas. Considerando dichas remociones obtendríamos que para un valor de 497.7 mgO₂/L de DBO₅ se obtiene 99.5 mgO₂/L si lo establecido en la normativa aplicada del presente estudio es de 100 mgO₂/L se concluye que después de todas las fases propuestas cumpliría con lo establecido. De igual forma de los restantes 270.8 mg/L de DQO se logra la remoción a 235.6 mg/L que siguiendo el valor máximo establecido en normativa de 250 mg/L cumple con lo estipulado. Del 0.5 mg/L de aceites y grasas restante aplicando el porcentaje de remoción se obtiene 0.3 mg/L comparándolo con el valor estipulado cumple exactamente con lo normado. Para los 1.4 mg/L de SS restantes se remueve a 0.98 mg/L si el máximo permisible es de 1 mg/L evidenciamos que cumpliría con la normativa. Finalmente, de los restantes 12.9 mg/L de sales disueltas se obtiene 9.7 mg/L restantes que siguiendo la normativa de 10 mg/L máximos para cuerpos de agua dulce cumpliría lo establecido.

Si se considera las estimaciones propuestas en dichos estudios se puede constatar que los parámetros analizados en el presente estudio en relación con los tratamientos establecidos para el diseño de plantas de tratamiento cumplirán con los máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, en su libro VI, anexo 1, tabla 12 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”, dos de ellos serían eliminados en una sola fase y los demás tendrán disminuciones significativas según la fase de tratamiento logrando al final del proceso remover la máxima concentración del contaminante.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La descarga de la microempresa láctea contiene altos valores de materia orgánica siendo este el mayor contaminante que presenta es por eso que haciendo la relación DBO_5/DQO llegamos a obtener un tratamiento biológico para que se pueda eliminar estos parámetros ya que de manera físico- químico no se podría eliminar.
- El estudio realizado permite que el agua residual de la microempresa "Digna Isabel" cumpla con los máximos permisibles que se encuentra establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, estableciendo procesos que parte de un Tanque Homogeneizador, Trampa de Grasa, Coagulación y Floculación, Decantador de Alta Tasa y un sistema de Lodos Activados, comprobando que si removió los parámetros iniciales analizados que se encontraban fuera de los rangos de los límites máximos permisibles.
- Se comprobó la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual mediante la disminución de los límites máximos permisibles por medio del rendimiento analizados en diferentes fuentes bibliográficas en función de cada uno de los procesos unitarios implementados en la planta de tratamiento, obteniendo valores dentro de los rangos. Aceites y grasas se obtuvo un valor final de 0.3 mg/L cumpliendo con la normativa de 0.3 mg/L, DBO_5 con un valor de 99.5 mgO_2/L con la normativa de 100 mgO_2/L , DQO con un valor de 235.6 mg/L con la normativa de 250 mg/L, Sales disueltas con un valor de 9.7 mg/L con la normativa de 10 mg/L, Sólidos sedimentables con un valor 0.98 mg/L con la normativa de 1 mg/L, Sólidos suspendidos totales con un valor de 92.39 mg/L con la normativa de 100 mg/L y los Sólidos totales con un valor de 126.98 mg/L con la normativa de 1600 mg/L, concluyendo que todos los parámetros del efluente de la microempresa cumplen con la normativa de la tabla 12, anexo 1, libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

5.2. Recomendaciones

- Los resultados que se obtuvo en los análisis del agua residual de la industria láctea permiten evidenciar que es importante tener una planta de tratamiento para evitar la contaminación en el cuerpo de agua dulce, se recomienda también que el suero de leche se recoja completamente en tanques para que así sea distribuida en la comunidad la delicia como alimento para los animales.
- Es importante la implementación de charlas a los propietarios de las diferentes industrias lácteas para que tengan conocimiento como el efluente de la misma industria afecta de

manera negativa ya sea este en el agua, en el suelo e incluso en la alimentación de su ganado.

- Implementar proyectos que minimicen la contaminación de los ecosistemas para evitar pérdidas irreparables en la naturaleza y mejorar la calidad de vida de los pobladores.
- Para realizar las soluciones del coagulante y floculante se recomienda utilizar el agua de las llaves ya que posee calcio, magnesio, sodio azufre entre otros estos permiten que ayuden al policloruro de aluminio que active todas sus propiedades y que sea más efectivo al realizar las Pruebas de Jarra.
- Tanto el floculante como el coagulante se debe poner al mismo tiempo en todos los vasos de precipitación para evitar que en unos se realicen los Floc antes y después de tiempo.
- Se recomienda a la microempresa "Digna Isabel" que implementen la planta de tratamiento propuesta, con el fin de contribuir con la reducción de la contaminación en su área, principalmente el recurso hídrico del río Chimborazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, L., & Bazán, W. (2009). *Eficiencia de un sistema de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea de Cajamarca*.
- Becerra Gutiérrez, L. K., Horna Acevedo, V., & Barrionuevo Albújar, K. I. (2014). *Artículo Original Level of pollution of effluent from the slaughterhouses in the region la Libertad*.
- Burgos, D., Espinoza, G., & Parrales, C. (2005). *PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES, LODOS Y LIXIVIADOS DEL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA*.
- Cabrera Bermúdez, C., Ramírez, F., & Moya, C. (2009). XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre. *Tecnología Química*, 64–73. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>
- Dearmas Duarte, D., & Ramírez Hernández, L. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Programa de Doctorado En Estudios Urbanos de La Universidad Nacional de General Sarmiento*.
- Echeverry, D., & González, S. (2017). *DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA*.
- Gaibor Chávez, J. (2014). CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN LA PLANTA DE LÁCTEOS EL SALINERITO – PARROQUIA SALINAS – CANTÓN GUARANDA PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO. *Revista de Investigación Talentos*, 1, 2631–2476.
- Google Earth. (2022). *Ubicación Barrio La Delicia, Parroquia San Juan, Cantón Chimborazo*.
- Guamán, M. C. (2016). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa PROALIM*.
- Guerrero Vejarano, T. E., Salazar Álvarez, J. C., & Paredes Salazar, J. L. (2018). EFICIENCIA DE UN SEDIMENTADOR LAMINAR Y CONVENCIONAL PARA ELIMINAR SÓLIDOS. In *Rev Soc Quím Perú* (Vol. 84, Issue 3).
- Jiménez Idrovo, V. A. (2019). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS SANTA CRUZ - SANTIAGO DE PILLARO – AMBATO*.
- Llanos, D. (2013). DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS “PILLARO” UBICADA EN EL CANTÓN PILLARO- TUNGURAHUA. *Ingeniería En Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Mariñelarena, A. (2006). Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. *Municipalidad de Río de La Plata*.
- Mena, M. E. C., Guadalupe, C. S. A., Vallejo, M. V. P., Córdova, G. B. M., Bernal, C. M. V., Suárez, J. G. B., & Mena, A. P. C. (2017). Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Para Su Reutilización En Riego En Áreas Verdes. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(18), 94. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n18p94>

- Cogollo Flores, J. M. (2011, July). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *Universidad Nacional de Colombia, ISSN 00127353*, 78.
- Obeid, K., & Ramírez, A. (2018). *Diseño de una trampa de grasas en la planta de tratamiento de aguas residuales en una planta panificadora ubicada en el departamento del Atlántico*.
- Proaño, R. G. S., & Gualoto, K. J. G. (2018). Wastewater treatment of industrial loads with advanced oxidation in conventional systems. *Granja*, 27(1), 103–111. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>
- Rincón, A., Herrera, O., & Ortiz, M. F. (2014). *Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente*.
- Rivas-Romero, S., Menés-Vuelta, G., & Rómulo-Rodríguez, A. (2017). *Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara Treatment for coagulation-flocculation to effluent from Ernesto Che Guevara Company of Nickel*.
- Rodríguez Díaz, Y. J., Torregroza Mozo, A. A., Mejía Padilla, F., Atencia Vargas, J. J., & Villero González, A. C. (2019). Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. *Temas Agrarios*, 24(2), 158–169. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.2068>
- Romero Rojas, J. (2005). Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño. *Escuela Colombiana de Ingeniería*, 2(1).
- Sáenz Roldan, L. F. (2013). "DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACION DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS OASIS".
- Santo, A. A., & Toapanta, A. D. (2019). "PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA LÁCTEA PASTOLAC."
- Tirado Armesto, D. F., Gallo García, L. A., Acevedo Correa, D., & Mouthon Bello, J. A. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción + Limpia*, 11(1), 171–184. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n1a16>
- TULSMA. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*. www.lexis.com.ec

ANEXOS

Anexo 1. Microempresa láctea “Digna Isabel”

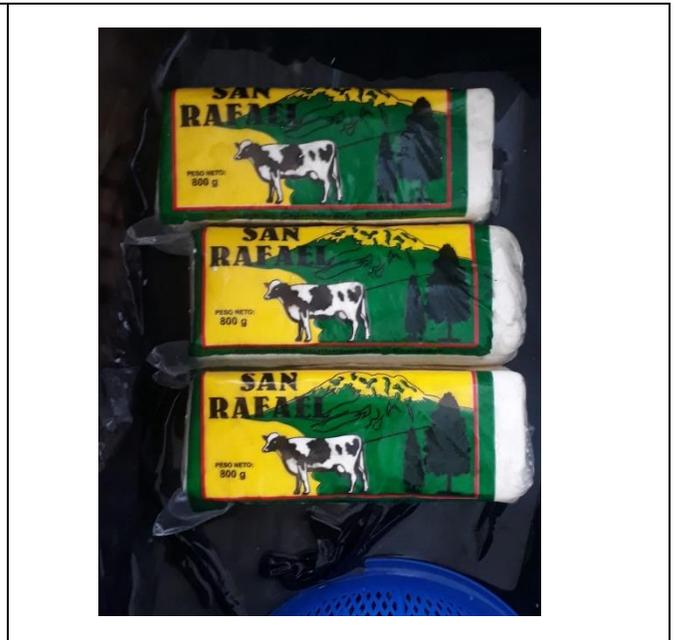


Anexo 2. Medida del Caudal y almacenamiento del agua para los análisis en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo



Anexo 3. Proceso de producción del Queso y Quesillo





Anexo 4. Datos del volumen del efluente de la Microempresa láctea Dia 1

DIA 1			
CAUDAL PEQUEÑO	CAUDAL MEDIO	CAUDAL GRANDE	CAUDAL MÁXIMO
0:04:17	0:02:07	0:00:47	0:01:23
0:00:08	0:01:51	0:00:49	0:00:25
0:01:10	0:00:21	0:01:11	0:00:48
0:18:04	0:01:04	0:00:33	0:00:51
0:05:44	0:00:42	0:00:58	0:01:12
0:01:04	0:00:08	0:00:45	0:00:45
0:04:27	0:00:11	0:01:56	0:01:18
0:12:47	0:01:01	0:01:23	0:01:05
0:03:35	0:00:46	0:01:04	
0:08:27	0:01:10	0:00:14	
0:09:08	0:06:08	0:01:56	
0:00:14	0:01:39	0:00:34	
2:08:00	0:00:50	0:00:47	
0:04:29	0:04:28	0:02:17	
0:04:06	0:01:45	0:01:34	
0:10:16	0:01:43	0:01:28	
0:09:28	0:01:28	0:01:46	
0:04:53	0:03:49	0:00:38	
0:03:30	0:01:02		
0:11:25	0:00:44		
0:02:34	0:00:57		

0:00:59	0:08:22		
0:07:09	0:00:59		
0:09:16	0:01:09		
0:00:59	0:02:06		
0:04:17	0:02:23		
0:00:56	0:00:23		
0:04:37	0:02:57		
0:07:41	0:01:12		
0:05:22	0:04:03		
0:02:21	0:02:06		
0:00:31	0:01:13		
0:09:16	0:00:56		
0:04:17	0:00:59		
0:04:17	0:02:02		
0:00:36	0:01:16		
0:18:50	0:03:20		
0:06:18	0:02:45		
	0:01:20		
	0:01:08		
	0:00:58		
	0:06:02		
	0:04:11		
	0:00:43		
	0:10:24		
5:35:27	1:36:51	0:20:38	0:07:47

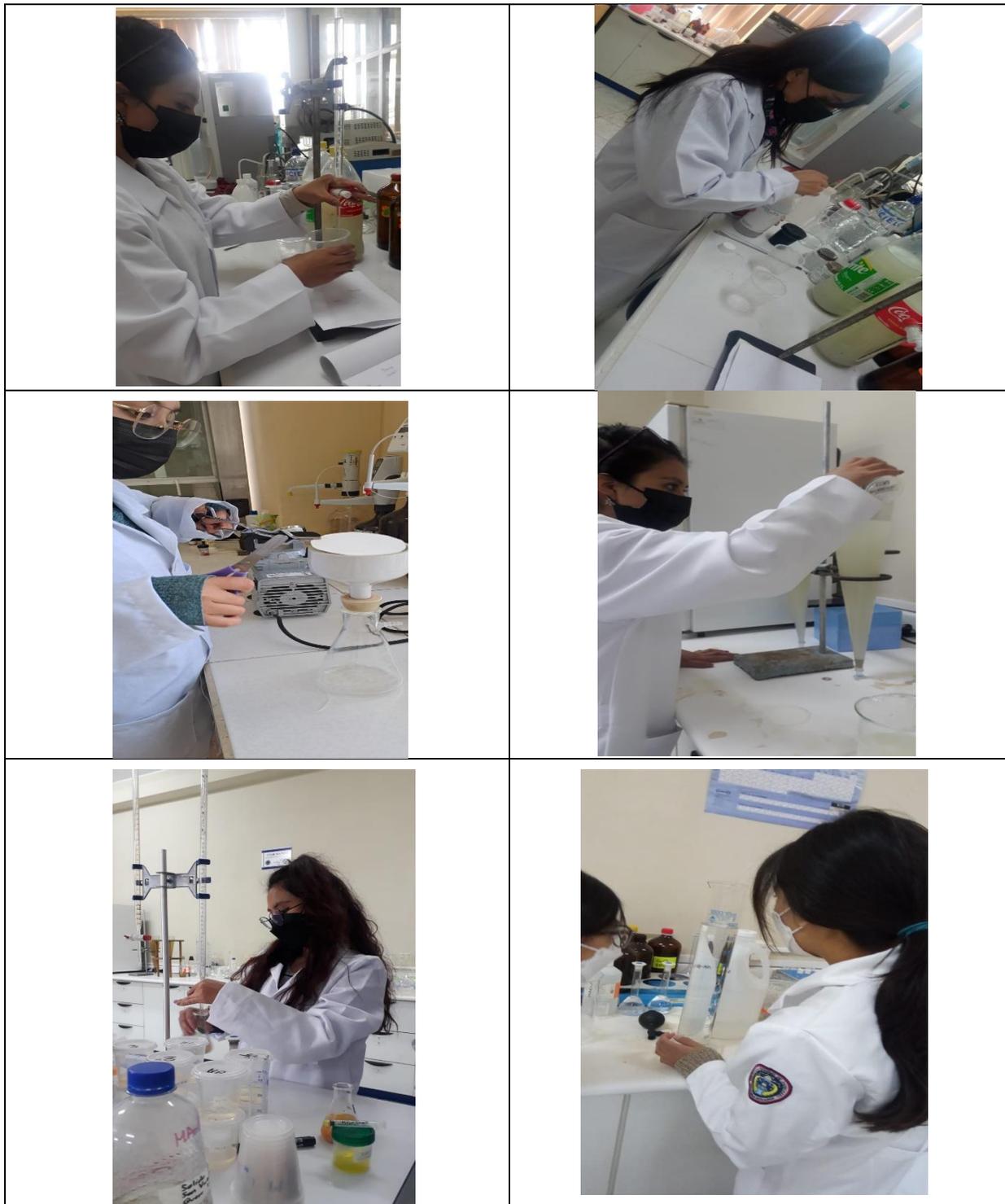
Anexo 4. Datos del volumen del efluente de la Microempresa Láctea-Día 2

DÍA 2			
CAUDAL PEQUEÑO	CAUDAL MEDIO	CAUDAL GRANDE	CAUDAL MÁXIMO
0:01:15	0:02:25	0:01:44	0:00:37
0:04:57	0:00:46	0:00:25	0:00:33
0:01:09	0:00:18	0:00:36	0:00:13
0:01:11	0:00:41	0:00:16	0:00:49
0:00:39	0:00:12	0:00:35	0:00:42
0:12:18	0:00:51	0:00:49	0:03:07
0:00:54	0:00:44	0:00:41	0:00:35
0:03:43	0:01:37	0:01:53	0:01:35
0:00:44	0:02:23	0:00:08	
0:04:27	0:01:26	0:00:50	
0:13:16	0:00:27	0:01:18	
0:02:23	0:01:50	0:00:42	
0:14:23	0:05:49	0:01:34	
0:00:40	0:01:19	0:01:02	
0:16:35	0:01:08	0:00:15	
0:01:08	0:00:26	0:01:31	
0:07:26	0:01:42	0:01:31	
0:02:08	0:02:25	0:00:25	
0:08:16	0:04:25	0:02:25	
0:03:03	0:00:33	0:01:07	
0:01:27	0:01:38	0:00:49	
0:00:51	0:00:56	0:00:17	
0:18:13	0:00:44	0:00:49	
0:00:24	0:01:08	0:00:24	
0:04:36	0:01:15	0:01:12	
0:00:51	0:00:46	0:01:10	
0:04:39	0:04:26	0:00:52	
0:01:27	0:02:48	0:01:07	
0:12:21	0:09:25		
0:05:06	0:00:31		
0:02:32	0:04:08		
0:01:43	0:02:02		
0:02:18	0:00:14		
0:07:28	0:02:04		
0:03:05	0:00:52		
0:00:32	0:01:52		
0:07:07	1:01:53		
0:01:45	0:02:49		
0:05:35	0:03:22		
0:09:02	0:03:36		
0:00:41	0:00:42		
0:03:15	0:00:04		
0:20:09	0:01:25		
0:01:55	0:00:38		
0:02:48	0:01:03		
0:05:39	0:00:33		
0:18:19	0:01:21		
	0:00:11		
	0:01:01		
	0:00:33		
	0:00:15		
	0:00:34		
	0:02:38		
	0:02:21		
4:04:22	2:31:14	0:26:26	0:08:12

Anexo 5. Datos del volumen del efluente de la Microempresa Láctea-Día 3

DÍA 3			
CAUDAL PEQUEÑO	CAUDAL MEDIO	CAUDAL GRANDE	CAUDAL MÁXIMO
0:10:53	0:00:38	0:00:43	0:00:29
0:00:41	0:00:59	0:00:29	0:00:23
0:01:51	0:01:26	0:01:02	0:00:36
0:01:22	0:00:57	0:00:34	0:01:23
0:10:38	0:00:33	0:00:23	0:00:29
0:26:08	0:01:52	0:00:19	0:00:23
0:14:38	0:01:45	0:00:45	0:01:05
0:05:38	0:00:05	0:00:48	0:01:29
0:00:25	0:00:44	0:00:16	
0:08:47	0:01:04	0:00:54	
0:01:36	0:00:34	0:00:31	
0:02:39	0:00:08	0:01:36	
0:05:52	0:00:52	0:00:14	
0:07:05	0:00:31	0:00:25	
0:04:33	0:01:11	0:01:34	
0:08:15	0:01:45	0:01:27	
0:23:03	0:00:12	0:01:46	
0:03:56	0:00:36	0:00:38	
0:00:35	0:07:37	0:00:19	
0:00:07	0:00:44	0:00:45	
0:09:37	0:01:18	0:00:48	
0:05:39	0:00:53	0:00:16	
0:01:27	0:00:40	0:01:53	
0:00:02	0:01:16	0:00:08	
0:04:17	0:02:33	0:00:50	
0:00:08	0:03:44	0:01:18	
0:01:10	0:02:07	0:00:41	
0:18:04	0:01:51		
0:09:16	0:00:21		
0:04:15	0:01:04		
0:03:18	0:00:42		
0:00:34	0:06:02		
0:05:38	0:04:10		
0:00:25	0:00:42		
0:08:47	0:00:44		
0:01:36	0:01:04		
0:02:39	0:00:35		
0:05:52	0:00:08		
0:07:05	0:00:52		
0:04:33	0:00:31		
0:14:23	0:01:11		
0:00:40	0:01:45		
0:16:35	0:00:12		
0:01:08	0:00:36		
0:07:26	0:05:49		
0:02:08	0:01:19		
0:08:16	0:01:08		
0:02:23	0:00:26		
0:03:03	0:01:42		
0:14:36	0:02:25		
0:01:13	0:04:25		
0:00:39	0:00:33		
0:14:35	0:01:38		
0:01:08	0:03:20		
	0:02:45		
	0:01:20		
	0:01:08		
	0:00:59		
	0:00:03		
	0:00:26		
	0:01:03		
	0:02:06		
	0:01:05		
	0:00:57		
	0:00:25		
	0:01:30		
	0:02:03		
	0:05:49		
	0:02:16		
	0:00:08		
	0:01:32		
	0:10:24		
5:21:15	1:57:56	0:21:22	0:06:16

Anexo 6. Análisis en los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo



Anexo 7. Equipo de laboratorio para el respectivo análisis y resultados



Anexo 8. Equipo para realizar la prueba de jarra y saber la dosificación correcta de Coagulante y Floculante

