

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS “EL PAJONAL”**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Wilson Javier Samaniego Marín

Tutor:

Ing. José Gregorio Prato Moreno *PhD.*

Riobamba, Ecuador. 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, WILSON JAVIER SAMANIEGO MARÍN con cédula de identidad No. 070511759-6; hago constar que soy autor del presente trabajo de investigación, titulado: “**PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS EL PAJONAL**” el cual constituye una elaboración, original y dirigida del Tutor del Proyecto, PhD. José Gregorio Prato Moreno.

En tal sentido, manifiesto la originalidad de la Conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado debidamente en el texto del documento.



Wilson Javier Samaniego Marín

CI. 070511759-6

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS EL PAJONAL”**, presentado por **Wilson Javier Samaniego Marín**, con cédula de identidad número **070511759-6**, bajo la tutoría del PhD. José Gregorio Prato Moreno; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 20 de mayo de 2022.

PhD. Benito Mendoza Trujillo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

MgS. María Fernanda Rivera Castillo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO



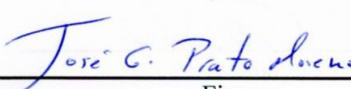
Firma

MgS. Carla Fernanda Silva Padilla
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

PhD. José Gregorio Prato Moreno
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “PRELISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS EL PAJONAL” presentado por Wilson Javier Samaniego Marín, con cédula de identidad número 070511759-6, bajo la tutoría del PhD. José Gregorio Prato Moreno; 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 20 de mayo de 2022.

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Benito Mendoza Trujillo



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. María Fernanda Rivera



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Carla Fernanda Silva Padilla



Firma

CERTIFICADO ANTIPLAGIO



DIRECCIÓN ACADÉMICA
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20

CERTIFICACIÓN

Que, **WILSON JAVIER SAMANIEGO MARÍN** con CC: **0705117596**, estudiante de la Carrera de **AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de Investigación titulado **"PRE-DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS EL PAJONAL"**, que corresponde al dominio científico **HÁBITAT SUSTENTABLE Y SEGURO PARA EL DESARROLLO TERRITORIAL** y alineado a la línea de investigación **MEDIO AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD**, cumple con el 7 %, reportado en el sistema Anti plagio nombre del sistema, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 25 de mayo del 2022

PhD. José Gregorio Prato Moreno

TUTOR

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por su amor, por haberme dado salud, perseverancia, fuerza de donde no la tenía para poder cumplir un sueño más en mi vida hecho realidad.

A mi Padre Wilson A. Samaniego Erazo y mi Madre Elvia Piedad Marín V y Hermano Paul A. Samaniego Marín, porque han sido y son mi motivación a lo largo de mi carrera universitaria y para mucho más sueño por hacer realidad y por su dedicación hacia mi como hijo y como estudiante, por su dedicación y esfuerzo como padres, por su gran amor incondicional y consejos muy ciertos en la vida.

Agradezco a los amigos y personas que supieron extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

A cada uno de mis docentes que me han ofrecido sus conocimientos para poder llegar a ser un profesional de bien.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, y a mi tutor PhD. José Prato, por ser perseverante, muy responsable por compartirme sus conocimientos, por su dedicación, esfuerzo, experiencia, motivación y que no deja que los sueños de sus alumnos se decaigan y que sobresalgan en la vida profesional.

Wilson Javier Samaniego Marín

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo está dedicado a mis padres y hermano que son y fueron el pilar fundamental para poder hacer realidad este sueño, por ser un apoyo incondicional, por estar a mi lado en las buenas y en las malas, por estar ahí en esas noches de desvelo y de ayuda que me dieron y demostrarme el verdadero real amor, seguiré esforzándome y cosechando éxitos por ustedes padres, los amo con el alma y corazón.

Este trabajo realizado por mi persona y gracias a mi Tutor PhD. José Prato por su perseverancia hacia mí, dedico este trabajo a mi familia y en especial a mis abuelitos que desde el cielo me dieron muchas fuerzas para no rendirme fácilmente.

ÍNDICE

DERECHOS DE AUTOR

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 ANTECEDENTES.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Agua.....	20
2.1.1 Contaminación de las Aguas por las Industrias	20
2.1.2 Parámetros de Análisis de la Calidad del Agua	20
2.1.3 Parámetros Físicos	21
2.1.4 Parámetros Químicos	21
2.1.5 Parámetros Microbiológicos	22
2.1.6 Aguas Residuales	23

2.2	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales	24
2.3	Industria Láctea.....	26
2.3.1	Impacto Ambiental de la Industria Láctea	26
2.3.2	Consumo de Agua de la Industria Láctea	28
2.4	Industria El PajonaL.....	28
2.4.1	Procesos de Producción de Derivados Lácteos.....	29
2.4.2	Mantequilla	29
2.4.3	Queso	31
2.4.4	Yogurt	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		34
3.1	Tipo de Investigación.....	34
3.2	Diseño de Investigación.....	34
3.3	Técnicas de Recolección de Datos.....	35
3.4	Población de Estudio y Tamaño de Muestra.....	35
3.5	Métodos de Análisis.....	36
3.5.1	Determinación de Caudal.....	36
3.5.2	Caracterización de las Aguas Residuales.....	38
3.5.3	Selección del Sistema del Tratamiento	38
3.5.4	Diseño de las Unidades de Tratamiento.....	40
3.6	Procedimiento de Cálculo del Balance de Remoción	47
3.7	Procesamiento de Datos	47
3.7.1	Análisis Cualitativo.....	47
3.7.2	Análisis Cuantitativo.....	48
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		49
4.1	Determinación del Caudal.....	49
4.2	Caracterización de las Aguas Residuales.....	50

4.3	Selección del Sistema de Tratamiento	51
4.4	Diseño de los Equipos de Tratamiento	54
4.4.1	Tanque Homogeneizador	54
4.4.2	Sedimentador Primario.....	54
4.4.3	Flotación por Aire Disuelto.....	56
4.4.4	Tanque Lodos Activados	59
4.4.5	Sedimentador Secundario	64
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	68
BIBLIOGRAFÍA		69
ANEXOS		73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valoración cualitativa del consumo de agua en la industria láctea	28
Tabla 2	Parámetros físico químicos de análisis de las aguas residuales	38
Tabla 3	Valoración cuantitativa de criterios	39
Tabla 4	Medición del caudal de la zona de producción.....	49
Tabla 5	Medición del caudal de la zona de lavado o recepción de la leche	49
Tabla 6	Caudales promedios de las dos zonas de la empresa	50
Tabla 7	Caracterización de las aguas residuales	50
Tabla 8	Valoración cuantitativa de criterios	52
Tabla 9	Selección de las unidades de Tratamiento	53
Tabla 10	Dimensionamiento del tanque homogeneizador.....	54
Tabla 11	Datos y dimensiones del sedimentador primario	55
Tabla 12	Balance de remoción del sedimentador primario	56
Tabla 13	Datos para el dimensionamiento del sistema de flotación (DAF)	57
Tabla 14	Dimensionamiento del sistema de flotación por aire disuelto	57
Tabla 15	Balance de remoción del sistema de flotación por aire disuelto	58
Tabla 16	DBO y nutrientes presentes en el agua residual a la entrada del Tanque de aireación de lodos activados.	60
Tabla 17	Nutrientes requeridos para el proceso de lodos activados.	60
Tabla 18	Datos y dimensionamiento del tanque de aireación de lodos activados	61
Tabla 19	Datos y dimensionamiento del tanque de aireación de lodos activados (Continuación).	62
Tabla 20	Aireación en el reactor biológico.....	62
Tabla 21	Balance de Remoción de sistema de Lodos Activados	63
Tabla 22	Datos para el diseño del sedimentador secundario	64
Tabla 23	Recirculación de los lodos producidos en el sedimentador secundario.....	65
Tabla 24	Balance de Remoción del sedimentador secundario	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Empresa de lácteos “El Pajonal”	29
Figura 2 Proceso de producción de mantequilla.....	30
Figura 3 Proceso de producción de queso	32
Figura 4 Proceso de producción de Yogurt	33
Figura 5 Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales	53
Figura 6 Esquema del sistema de flotación por aire disuelto (DAF).....	58
Figura 7 Dimensiones del tanque de aireación de lodos activados	63
Figura 8 Esquema del sedimentador secundario y sus dimensiones	66

RESUMEN

La industria láctea tiene gran importancia en el sector agrícola y ganadero de la provincia de Chimborazo, sin embargo, sus actividades generan problemas de contaminación, debido a los tratamientos de agua inadecuados de sus efluentes, por tal motivo se presenta la propuesta de investigación denominada, pre diseño de una planta de tratamiento de las aguas residuales de la empresa de lácteos “EL PAJONAL” en la parroquia rural de Químiag, perteneciente al cantón Riobamba en la provincia de Chimborazo, la metodología utilizada se basó en el reconocimiento en las instalaciones de los procesos de producción de la industria quesera, posteriormente, se determinó el caudal promedio de la zona de producción y de la zona de lavado mediante el método de flotadores y el método volumétrico, obteniendo un caudal promedio de 1,94 L/s, a partir de muestras compuestas durante un lapso de tiempo de 4 semanas se realizó una caracterización físico – química de las aguas residuales industriales. Los resultados obtenidos indicaron el alto contenido de carga orgánica y grasas en el efluente, bajo esta realidad se evaluó, seleccionó y dimensionó un sistema de tratamiento adecuado para las aguas residuales de la empresa conformado por un tanque homogeneizador, sedimentador primario, sistema de flotación por aire disuelto, tanque de lodos activados, y por último un sedimentador secundario. Finalmente, a través de un balance teórico de remoción de contaminantes se demostró que la implementación del tren de depuración propuesto garantiza un agua tratada que cumpliría con los límites estipulados en la normativa nacional para efluentes industriales.

Palabras claves: Aguas residuales, contaminación, zona de producción, zona de lavado, efluentes industriales

ABSTRACT

The dairy industry plays such an important role in agricultural and livestock sectors in Chimborazo province, however, its activities generate pollution problems, due to inadequate water treatment of its effluents, for this reason the research proposal called, pre-design of a wastewater treatment plant of the dairy company "EL PAJONAL" in the rural parish of Químiag, belonging to the Riobamba canton in the province of Chimborazo was stated. The methodology used was based on the recognition in the facilities of the production processes of the cheese industry, later, the average flow rate of the production area and the washing area will be extended using the float method and the volumetric method, obtaining an average flow rate of 1.94 L/s, from of composite samples over a period of 4 weeks, a physical-chemical characterization of industrial wastewater was carried out. The results obtained indicated the high content of organic load and fats in the effluent, under this reality an adequate treatment system for the company's wastewater was evaluated, selected and dimensioned, consisting of a homogenizer tank, primary settler, flotation system by dissolved air, activated sludge tank, and last a secondary settler. Finally, through a theoretical balance of contaminant removal, it was revealed that the implementation of the proposed purification train guarantees treated water that would comply with the limits stipulated in the national regulations for industrial effluents.

Keywords: Wastewater, contamination, production area, washing area, industrial effluents



Firmado electrónicamente por:

MISHELL
GABRIELA SALAO
ESPINOZA

Reviewed by:

Lic. Mishell Salao Espinoza

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0650151566

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria es uno de los sectores productivos que mayor impacto tiene sobre el medio ambiente, bien sea por sus procesos productivos o por los diferentes productos que salen al mercado. Cada sector según su actividad genera residuos en porcentajes diferentes de acuerdo con los tipos de producto elaborado, la industria láctea al procesar su materia prima más importante como es la leche, producto altamente perecedero que requiere de diferentes procesos para obtener alimentos con periodos de almacenamiento y conservación prolongada genera un gran volumen de residuos sólidos y líquidos (Restrepo, 2012).

Entre las industrias del sector lácteo, se observa una enorme diferencia en la adopción de tecnologías tanto de prevención como de producción. Las empresas grandes cuentan con tecnologías avanzadas, sin embargo, las pequeñas y medianas, limitadas por razones económicas, a lo sumo sólo han definido como mejorar su proceso.

La industria láctea por su diversidad de procesos y productos genera una gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos los cuales se ven incrementados al mejorar la productividad, calidad y sanidad de los mismos. El queso es un producto fundamental de la industria destinándose para su elaboración el 63 % de la producción nacional de leche, se obtiene como subproducto un lacto suero en volúmenes significativamente altos convirtiendo su producción como el factor más importante al momento de evaluar los aspectos medio ambientales de la industria láctea, debido al contenido en lactosa, grasa, proteínas, minerales, vitaminas responsables de los elevados valores de DBO₅ y DQO presentes en el mismo (Restrepo, 2012).

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad la contaminación del medio ambiente es de gran preocupación a nivel global, esto ha generado grandes cambios en la calidad de vida de los seres humanos, así como en los ecosistemas en general, uno de los causantes del deterioro es el agua residual que las generan las actividades domésticas y las industrias, por ende se convierte en una necesidad la búsqueda de soluciones para poder lograr depurar las aguas, es por ello, que

desde hace varios años atrás se han ido realizando diferentes trabajos de investigación a nivel mundial, que han permitido ayudar a preservar y recuperar los recursos naturales.

A continuación, se citan algunos trabajos relacionados a tratamientos de agua residual que se han dado acabo.

- En el ámbito internacional se describe el siguiente antecedente:

Rodríguez, (2010) en el proyecto titulado: Evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria Láctea, para el Instituto Politécnico Nacional de Durango, cuya finalidad fue evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Sociedad Cooperativa de Producción de Quesería Holanda S.C.L, ubicada en Campo Hermoso, Nuevo Ideal, Durango, conforme a la Normatividad Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996”; la cual indica que se realizó la evaluación al comparar las entradas y salidas por parámetro de cada operación y proceso involucrado en la planta de tratamiento de aguas residuales de la quesería, tomando en consideración sus tiempos de residencia hidráulica.

Este proyecto contribuyo con las operaciones y los procesos necesarios para proponer sistema de depuración para el tratamiento de aguas residuales en las industrias lácteas de acuerdo al cumplimiento de las especificaciones señalas en la normativa vigente de cada país, además, se indican los parámetros de caracterización básicos para este tipo de efluentes.

- En el ámbito nacional se describen los siguientes antecedentes:

Vásconez & Hernández (2014), desarrollaron el proyecto denominado: Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la planta de lácteos de la Facultad de Ciencias, para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la misma que consistió en : “Realizar el diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para la quesera “El Salinerito”, ubicado en la parroquia Salinas, cantón Guaranda, provincia Bolívar, en el año 2014”, la investigación determinó que toda industria láctea debe contar con un diseño de tratamiento de aguas residuales, utilizando métodos analíticos cuantitativos y cualitativos, lo cual permite que el diseño y construcción de la planta de depuración ayude a prevenir la contaminación de las aguas.

Este proyecto aporto con las técnicas para la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual fundamentándose en los métodos de las normas:

APHA/AWWA/Standard Methods de las aguas residuales, factores que contribuyen a obtener resultados propicios de los análisis realizados en la caracterización del agua residual, además fue una guía para la realización el diseño de la planta de tratamiento.

De la misma manera (Chariguamán, 2018) en el proyecto denominado: Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en la planta procesadora “Lácteos Oriente del Ecuador”, ubicada en la provincia Pastaza de la Facultad de Ciencias para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, esta investigación pretendió Diseñar un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales generadas en la planta procesadora “LÁCTEOS ORIENTE DEL ECUADOR”, la cual indica el proceso de tratamiento de separación o eliminación de grasas y aceites implícitos en el agua residual mediante la ejecución de una trampa de grasas, para continuar con una filtración haciendo uso de un filtro lento compuesto por grava y arena.

En la cita anterior aporta con la caracterización inicial de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual de la planta de lácteos, a través de los métodos normalizados (APHA, AWWA, WPCF, 2017), también señala cómo realizar el proceso de tratamiento de separación de grasas y aceites siendo un eje fundamental para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en las empresas lácteas.

De igual manera (Bravo, 2020) expresa en su investigación aborda el tema: Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la planta de lácteos de la Facultad de Ingeniería, para la Universidad Nacional de Chimborazo, la misma que comprende el diseño de un sistema de aguas residuales para la planta de lácteos de la Facultad de Ingeniería, teniendo como objetivo el diseño de forma teórica de un sistema de depuración para remover los contaminantes del agua residual del Centro de Transferencia, Tecnología, Saberes, Producción y Servicios (Planta de lácteos).

Esta investigación aportó con el diseño para la selección de tratamiento enfocándose en las características físico-químicas del agua residual para reducir el impacto ambiental. Además, contribuyó con las dimensiones de unidades de tratamiento del agua residual, así como las ecuaciones empleadas para el cálculo de cada unidad de la planta de tratamiento de aguas residuales; siendo estos aspectos trascendentales para el desarrollo de la presente investigación para el rediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la industria láctea.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el Ecuador está en una crisis ambiental que va incrementando conforme pasa el tiempo, el crecimiento demográfico y el aumento de industrias afectan la calidad del agua, que es el recurso natural con mayor índice en la vida económica y social del país (Puentestar, 2015).

Dentro del sector industrial nacional, las empresas lácteas generan n cantidades significativas de residuos líquidos, que influyen directamente en la contaminación del agua, sino se hace un adecuado tratamiento de sus efluentes.

Además, los grandes inconvenientes ambientales asociados al sector lácteo tienen relación básicamente con los residuos líquidos y sólidos. Los residuos sólidos generados en el proceso productivo son, en la mayoría de los casos, reciclados hacia otros sectores industriales; mientras que los lodos producidos en la planta de tratamiento son dispuestos en vertederos o reutilizados como abono. Por otro lado, los efluentes líquidos generados en esta industria se caracterizan por un contenido medio de DBO₅, por una carga elevada de sólidos suspendidos y media de aceites y grasas (Landi, 2018).

El problema ambiental de las industrias lácteas, radica principalmente en las aguas residuales, por su gran volumen y la contaminación que generan, principalmente de carácter orgánico, proveniente en parte de la limpieza de los equipos, también de los procesos y los sueros o restos de leche que quedan en la superficie de las empresas.

A nivel regional existe una variedad de estas industrias, grandes, medianas y pequeñas, donde la mayoría de éstas no proveen de un sistema de tratamiento de sus efluentes, es por ello, que se ha propuesto prediseñar una planta de tratamiento adecuada a las necesidades de este tipo de empresas, como es el caso de Lácteos El Pajonal.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las actividades de producción que se generan en la industria láctea contaminan notablemente los efluentes cercanos a dichas empresas, esto se debe a que no hay un previo tratamiento del residuo que emanan, por ende, las descargas al sistema de alcantarillado donde desfoga en el río Chambo generando una grave contaminación al recurso hídrico.

Por lo tanto, es de gran interés poder usar sistemas de tratamiento de aguas residuales porque permite controlar la contaminación que generan hacia los efluentes y esto reduce marcadamente el impacto que se genera al ser depositadas en los cuerpos hídricos.

La empresa se encuentra en una zona rural donde el apoyo y la atención de las autoridades es nula. Consiguiente, se escogió este proyecto de investigación por la demanda alta de contaminación que esta empresa genera y así para poder ayudar al ambiente y a la Empresa de Lácteos a cumplir con las normativas.

El presente proyecto de investigación propone un sistema de tratamiento de aguas residuales, a fin de reducir la carga contaminante y así poder obtener un efluente con un menor grado de contaminación que se rigen con los diferentes parámetros permisibles establecidos con la legislación del Ecuador.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Prediseñar una planta de tratamiento de las aguas residuales de la empresa de lácteos El Pajonal.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los caudales de operación para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa El Pajonal.
2. Caracterizar las aguas residuales de la empresa de lácteos El Pajonal
3. Seleccionar y dimensionar el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la empresa de lácteos El Pajonal

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua

El agua es un recurso natural importante para los seres vivos, es parte esencial de hombres, animales y plantas, en cuyos cuerpos, aproximadamente, el 72 % de su peso corporal está constituido por agua. El recurso hídrico que existe en la tierra es fundamental para diversas actividades; como producción de alimentos, crecimiento de plantas, cría de animales, el buen vivir del hombre, etc., pero, lamentablemente, solo el 3 % del agua que hay en el mundo es apta para el consumo humano, es decir, es agua dulce (Fernández Cirelli, 2012).

2.1.1 Contaminación de las Aguas por las Industrias

La contaminación ambiental se define como la introducción de sustancias o energía cuyos efectos ponen en riesgo la salud humana, los recursos naturales y los ecosistemas. La contaminación tiene lugar por el uso laboral y recreativo del medio ambiente y considerándose una amenaza para los valores culturales, espirituales y estéticos que muchas personas atribuyen a la riqueza y la diversidad del medio.

La contaminación tiene muchas causas, entre ellas la tecnología elegida como destino de inversiones cuantiosas, los procesos industriales; el diseño de los productos y sus envases; los gustos y hábitos de los consumidores; la falta de reglamentación o su aplicación deficiente; y el desconocimiento de los efectos de la contaminación en la salud humana y los ecosistemas (Banqueri, 2019).

2.1.2 Parámetros de Análisis de la Calidad del Agua

La calidad del agua hace referencia a las condiciones en las que se encuentra la misma respecto a sus características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

El agua es de buena calidad cuando puede ser usada sin causar daño; además de estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y que sean desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor y turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos.

El agua se evaluará en cuanto a su calidad analizando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Es necesario que los ensayos que evalúan dichos parámetros de calidad, deban tener aceptación universal a fin de que sean posibles las comparaciones con los estándares de calidad (Quintuña & Samaniego, 2016).

2.1.3 Parámetros Físicos

Los parámetros físicos que se toman en cuenta para determinar si existe contaminación del agua es:

- **Transparencia** Es estimada la transparencia del agua como la propiedad o estado trófico de un embalse, río o lago, aunque también se la relaciona con la cantidad de partículas que se encuentran presentes en ella (Fajardo, 2018).
- **Propiedades organolépticas (color, olor, sabor)** Las propiedades organolépticas, tales como; el color, olor y sabor, pueden ayudar a identificar si existe un indicio de contaminación en una fuente ácuea, así mismo igualmente pueden indicar el grado de pureza que tiene el agua como es el caso del agua potable que tiene un sabor agradable y es incolora.
- **Temperatura** La temperatura, se puede dar a conocer de manera natural dependiendo del cambio temporal y de manera antrópica por vertidos de aguas originarias de las industrias que afectan a la vegetación y especies de animales existente en el cuerpo receptor (agua). Para establecer la temperatura de un cuerpo de agua se puede realizar un análisis in situ mediante la termometría.
- **Conductividad** Es aquella que determina la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. Está relacionado con agrupaciones iónicas que proceden de sales y materia inorgánica entre los que se acentúan los; carbonatos, sulfuros, cloruros, alcalinos y además la conductividad se la mide en micro siemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) (Hernández, 2016).

2.1.4 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos son de gran importancia ya que permiten definir la calidad del agua ya que se puede identificar y ponderar los agentes culpables de contaminación como:

Metales pesados, cianuros, insecticidas, fenoles, entre otros.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)** Para la degradación de materia orgánica en una fuente hídrica se precisa de oxígeno ya que el alto contenido de material orgánico conlleva al desarrollo de bacterias y hongos. La oxidación de la materia orgánica limita el progreso de la flora y fauna que existe ya que este proceso consume el oxígeno haciendo que desaparezcan del ecosistema acuático las especies
- **Oxígeno disuelto (OD)** El oxígeno disuelto se lo puede obtener de manera in situ, presentándose de manera natural en el agua y su concentración depende de las condiciones tanto físicas, químicas y bioquímicas por los organismos que habitan en un cuerpo de agua.
- **Nitratos** Es un estado de oxidación que se localiza en lo más alto del ciclo del nitrógeno, alcanzando luego de la oxidación biológica concentraciones elevadas. Son nutrientes muy significativas para los microorganismos autótrofos – fotosintéticos y en muchos casos son limitantes de crecimiento.
- **pH** El potencial de hidrógeno se la toma de manera in situ y se utiliza para determinar si el agua es ácida, neutra o alcalina. Cuando el agua contiene un pH menor a 7 se denomina como aguas ácidas que ayudan a la corrosión de sustancias con contenidos metálicos y las aguas que contienen un pH mayor a 7 se las denomina como Alcalinas. Las fuentes hídricas no contaminadas por lo regular presentan pH con valores entre 6,5 a 8,5 (Sánchez, 2020).

2.1.5 Parámetros Microbiológicos

Los parámetros microbiológicos más comunes son: Coliformes totales, Estreptococos fecales, Coliformes fecales. Para efectuar los parámetros microbiológicos, se requieren un entrenamiento sobre la forma en que deben tomar la muestra, sobre el procedimiento de análisis y la identificación de las colonias. Las colonias tienen características específicas según el medio de cultivo usado en el análisis, lo cual permitirá diferenciarlas de las otras colonias que también puede crecer en los diferentes medios de cultivo (Quintuña & Samaniego, 2016)

2.1.6 Aguas Residuales

El agua que encontramos en la Naturaleza lleva disueltas, o en suspensión, determinadas sustancias obtenidas a lo largo del recorrido de parte de su período, en la superficie o en el interior de la Tierra. Pero, además de los agregados de origen natural, existen otros que tienen su comienzo en sustancias de desecho producidas como consecuencia de la actividad humana, bien arrojadas directamente al agua, usándola como transporte para eliminar productos molestos, bien llegadas a ella como consecuencia del lavado por el agua de zonas que las contenían.

Pueden definirse las aguas residuales como el conjunto de aguas que lleva elementos raros, bien por causas naturales, o provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana, estando compuestas por una combinación de:

- Líquidos de desagüe de viviendas, comercios, edificios de oficinas e instituciones
- Líquidos efluentes de establecimientos industriales.
- Líquidos efluentes de instalaciones agrícolas y ganaderas.

Aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que circulan por calles, espacios libres y tejados y azoteas de edificios que pueden ser admitidas y transportadas por las alcantarillas.

En cuanto a los efectos perjudiciales que estas aguas residuales pueden producir en los cauces receptores son de varios tipos, siendo los más importantes:

- Olores desagradables causados por las sustancias presentes en su seno y como consecuencia de su descomposición en ausencia de oxígeno, con desprendimiento de gases.
- Toxicidad de algunos agregados minerales y orgánicos, con acción sobre la fauna y la flora del cauce receptor y los consumidores posteriores de esta agua.
- Infecciones provocadas por la presencia de bacterias, virus u otros microorganismos, los cuales encuentran en las aguas residuales un modo de propagación (Pérez, 2006).

2.2 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

El objetivo de cualquier tratamiento es que el agua vertida cumpla con las especificaciones que marca la normatividad nacional, esto mediante la eliminación de los componentes definidos como contaminantes nocivos para el cuerpo receptor. Durante el tratamiento se deben considerar una serie de factores como la composición, el caudal y las concentraciones de los contaminantes, la calidad requerida del efluente y sus posibilidades de reutilización (Sánchez, 2020).

Las tecnologías existentes para el tratamiento de este tipo de efluentes son muy amplias, por lo que es difícil precisar un tratamiento estándar. No obstante, si se pueden exponer de forma general los tratamientos habitualmente empleados.

Pretratamiento

Generalmente este tipo de operaciones ajustan las condiciones del agua residual (AR) antes de que estas se han sometidas a procesos de tratamiento secundario o biológicos, esto significa la separación de materia flotante, arena, grasas y aceites. También las AR pueden tener valores de pH demasiado ácidos como en el caso de las industrias lácteas por lo que se necesita una corrección del mismo (Murillo, 2018). En el pretratamiento los sistemas más empleados son los siguientes:

- **Tamizado:** elimina los sólidos gruesos antes de la entrada a la planta depuradora.
- **Tanques de sedimentación:** se suelen emplear para aquellas industrias que generen una gran cantidad de sólidos en suspensión.
- **Homogeneización y neutralización:** este proceso suele ser imprescindible en la industria láctea, ya que al generarse durante los lavados aguas muy ácidas o muy alcalinas, podría provocar un vertido que impidiese cualquier tratamiento biológico posterior, además de incumplir los valores establecidos por la normatividad. Por ello se suelen instalar tanques de tiempo de retención grande en los cuales se mezclan las aguas ácidas y alcalinas procedentes de la factoría, produciéndose una neutralización natural.
- **Desengrasado o Desnatado:** este proceso es también muy importante en la industria láctea, la cual genera gran cantidad de grasas difíciles de eliminar para

ello se suelen instalar tanques en los cuales se introduce aire en forma de burbujas finas por el fondo para ayudar a que la grasa flote. La grasa formada en la superficie se suele empujar a una zona de remanso donde un jalador la retira a una canaleta y a un contenedor para retirarla al vertedero (Rodríguez, 2010).

Tratamiento Primario

Persigue la reducción de sólidos suspendidos. Se reducirá la turbidez y DBO₅ debido a que parte de los sólidos suspendidos son materia orgánica. Se eliminará también algo de contaminación bacteriológica (Coliformes, Estreptococos, etc.).

De los sólidos suspendidos se tratarán de eliminar específicamente los sedimentables. Dentro de este proceso unitario se puede incluir la decantación primaria, flotación y los procesos físico-químicos, permitiendo éstos últimos un incremento en la reducción de los sólidos suspendidos y la DBO₅ (Chávez, 2017).

Tratamiento Secundario

El objetivo consiste en reducir la materia orgánica disuelta. El tratamiento básico es biológico. Aquí se elimina tanto la materia orgánica coloidal como la que está en forma disuelta. Se consigue una coagulación y floculación de la materia coloidal orgánica por medio de biomasa (Murillo, 2018). El proceso se va a basar en el consumo de la materia orgánica por organismos adecuados. En esta etapa se van a conseguir importantes rendimientos en eliminación de DBO₅.

Entre los procesos de tipo biológico cabe distinguir:

- Fangos activos.
- Lechos bacterianos / filtros biológicos sumergidos.
- Estanques de estabilización.
- Lagunas aireadas.

Después de esta operación, el efluente pasará por una etapa de clarificación para eliminar los floculos biológicos que se ha producido (fangos en exceso) (Chávez, 2017).

2.3 Industria Láctea

La leche es un alimento completo que la naturaleza ofrece al ser humano, por proveer nutrientes fundamentales para su crecimiento, hasta el punto de constituir el único alimento que consumimos durante una etapa prolongada de nuestra vida. La composición de la leche depende de muchos componentes que tiene que ver con las prácticas de producción, manejo, cría, alimentación y clima. Los principales componentes de la leche son: agua, grasa, proteínas, lactosa y sales minerales, siendo el 87 % agua y la restante materia seca disuelta o suspendida en el agua.

De esta se puede conseguir una gran diversidad de productos lácteos (queso, crema, mantequilla, yogurt, etc.) cuyas características se pueden ver afectadas en dependencia de los procesos a los que sea sometida (Zamorán, 2013).

Según Vallejo (2014), en nuestro país a partir de la conquista española se produjo un consumo de la leche y sus derivados, inicialmente se daba en áreas urbanas por la dificultad para preservarla en buen estado, es desde 1900 y 1930 que el consumo de productos lácteos empieza a desarrollarse y se comienza a someter la leche a procesos de pasteurización logrando preservar su valor nutricional por mucho tiempo y de esta forma su consumo fue mayor, llegando hasta zonas rurales. En la actualidad es una industria que se encuentra en crecimiento en nuestro país y se ha llegado a ubicar como una importante actividad económica que a más de dinamizar el comercio genera gran cantidad de puestos de trabajo especialmente en el sector agrícola en general.

2.3.1 Impacto Ambiental de la Industria Láctea

La industria láctea genera cantidades significativas de residuos líquidos, mayormente leche diluida, leche separada, crema y suero, incluyendo grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno. La descarga de éstos sin tratamiento previo se convierte en un foco altamente contaminante. Los lavados contienen residuos alcalinos y químicos utilizados para remover la leche y los productos lácteos; así como materiales total o parcialmente caramelizados de los tanques, tambos, latas mantequeras, tinas, tuberías, bombas, salidas calientes y pisos. Los vertidos procedentes de restos de leche, lactosuero (contiene el 50% de nutrientes del producto inicial) y salmueras aumentan considerablemente la carga contaminante del vertido final (Valencia Denicia et al., 2009).

La problemática ambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada (fundamentalmente orgánica). El volumen de aguas residuales generado por una empresa láctea se pueden encontrar valores que oscilan entre 2 y 6 L/L leche procesada. Se ha estimado que el 90 % de la DQO de las aguas residuales de una industria láctea es atribuible a componentes de la leche y sólo el 10 % a suciedad ajena a la misma (Salcedo, 2009; Vallejo, 2014).

En la composición de la leche además de agua se encuentran grasas, proteínas (tanto en solución como en suspensión), azúcares y sales minerales. Los productos lácteos además de los componentes de la leche pueden contener azúcar, sal, colorantes, estabilizantes, etc., dependiendo del ambiente y tipo de producto y de la tecnología de producción empleada. Todos estos módulos aparecen en las aguas residuales en mayor o menor cantidad, bien por disolución o por arrastre de los mismos con las aguas de limpieza. (CAR/PL, 2002)

En general, los efluentes líquidos de una industria láctea presentan las siguientes características que influyen en la contaminación de los cuerpos hídricos:

- Exceso de contenido en materia orgánica, debido a la presencia de componentes de la leche. La DQO media de las aguas residuales de una industria láctea se encuentra entre 1000-6000 mg DBO/L.
- Presencia de aceites y grasas, debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos.
- Niveles dominantes de nitrógeno y fósforo, principalmente debidos a los productos de limpieza y desinfección.
- Variaciones importantes del pH, vertidos de soluciones ácidas y básicas. Principalmente procedentes de las operaciones de limpieza, pudiendo variar entre valores de pH 2-11.
- Conductividad elevada (especialmente en las empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente del salado del queso).
- Variaciones de temperatura (considerando las aguas de refrigeración)

2.3.2 Consumo de Agua de la Industria Láctea

Como en la mayoría de las empresas del sector agroalimentario, las industrias lácteas consumen diariamente grandes cantidades de agua en sus procesos (Tabla 1) y, especialmente, para mantener las condiciones higiénicas y sanitarias requeridas.

Tabla 1 Valoración cualitativa del consumo de agua en la industria láctea

PROCESO PRODUCTIVO	NIVEL DE CONSUMO	OPERACIONES CON MAYOR CONSUMO DE AGUA	OBSERVACIONES
Leche	Bajo	Tratamiento térmico - Envasado	
Mantequilla	Bajo	Pasterización de la nata Batido-Amasado	Lavado de la mazada antes del amasado
Yogurt	Bajo		Principalmente en operaciones auxiliares
Queso	Medio	Salado	Salado mediante salmueras
Operaciones Auxiliares	Alto	Limpieza y desinfección Generación de vapor - Refrigeración	Estas operaciones suponen el mayor consumo de agua

Fuente: (CAR/PL, 2002)

2.4 Industria El Pajonal

La empresa de lácteos “El Pajonal” está ubicada en la Parroquia de Químiag, perteneciente al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo; está a una altitud de 2730 msnm, su clima es frío de alta montaña, con temperatura media anual de 14 °C una temperatura idónea para el ganado y para la producción de leche que es entregada por los lugareños de la zona a la Empresa de Lácteos “El Pajonal”

En la Parroquia de Químiag a 15 metros del parque central como se muestra en la Figura 1, está ubicada la Industria de Lácteos “El Pajonal” que funciona desde el año 2009 con una excelente trayectoria, esta empresa posee equipos de última tecnología y una infraestructura útil para la realización de los procesos como son la pasteurización, elaboración de quesos utilizando la leche que produce la zona, esta empresa ha dado fuentes de empleo mismo del sector aproximadamente se encuentra laborando 15 personas hombres y mujeres del sitio.

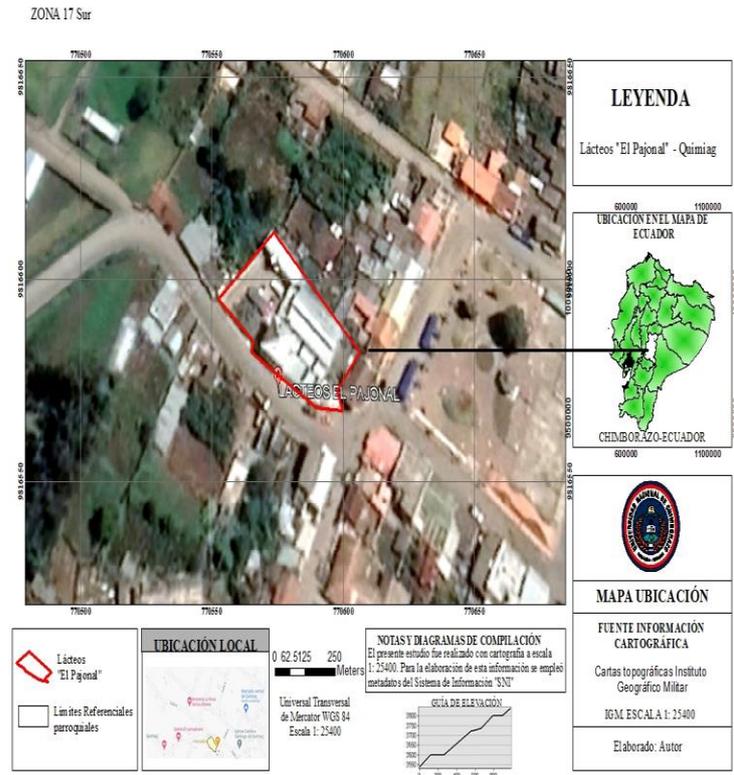


Figura 1 Ubicación de la Empresa de lácteos “El Pajonal”

Fuente: Autor (2022)

La empresa quesera “El Pajonal” posee como principal objetivo mejorar su proceso de producción y a su vez poder incrementar día a día la calidad de los productos y por ello tener un incremento en sus ventas, sin dejar de lado al medio ambiente para lo cual se prevé el diseño de una planta de tratamiento para las aguas residuales que se generan en las actividades de producción.

2.4.1 Procesos de Producción de Derivados Lácteos

La empresa El Pajonal realiza varias secuencias de actividades para transformar a la leche y convertirla en alimentos que satisfagan la necesidad de los consumidores nacionales, a continuación, se describen las líneas principales de producción.

2.4.2 Mantequilla

La materia prima que se utiliza es la nata que sobra de la operación de desnatonormalización del proceso de la elaboración de la leche de consumo para luego pasar por el

proceso de descremado y pasteurizado; después se realiza el enfriado a una temperatura de 10 – 15 °C para el siguiente paso es el batido donde queda una consistencia homogénea; luego se debe lavar por si quede alguna partícula que no sea del producto para que sea amasado y moldeado para su respectiva envasado y almacenado para luego ser llevado al consumidor.

Para que resulte de una buena calidad el producto pasa por análisis físico – químicos. Existen varios procesos para la elaboración de la mantequilla, sin embargo, en la Figura 2 se detalla cómo es el procedimiento basado en lo que es la aglomeración de los glóbulos grasos.

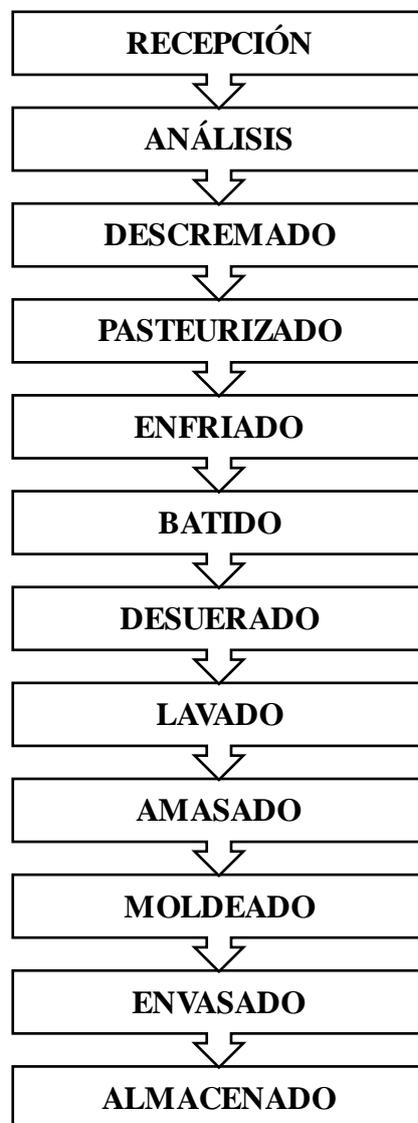


Figura 2. Proceso de producción de mantequilla

2.4.3 Queso

El queso es un producto que, durante muchos siglos, se ha ido elaborando de manera artesanal; incluso en los denominados países desarrollados, en los actuales momentos, se lo continúa elaborando así, pero cuidando su inocuidad y aptitud para el uso mediante el cumplimiento de las regulaciones y normativas de seguridad alimentaria para la elaboración del queso. Las fases de elaboración están mecanizadas e incluso automatizadas a fin de garantizar un procesamiento higiénico (Sánchez, 2011). En la Figura 3 se observa el esquema para la fabricación del queso fresco pasteurizado.

2.4.4 Yogurt

Para poder realizar el proceso del yogurt se parte de la recepción de la leche normalizada pasteurizada para que pueda pasar por el proceso de estandarización luego pasa por el proceso de homogenización de la leche, con la finalidad de así poder evitar la presencia de microorganismos no deseados, luego se le lleva al proceso de pasteurizado para que a continuación sea enfriado en reservorios a temperaturas de 10- 15 °C. se espera dos días para que el producto se fermente y se genere la ruptura del coágulo, después se procede a enfriar nuevamente para añadir la mermelada que le da un sabor único al yogurt para después ser envasado y distribuido para su venta.

En el mercado existe una gran variedad de yogures, en la Figura 4 se ve cada proceso para la elaboración del yogurt que tiene más consumo en el mercado.

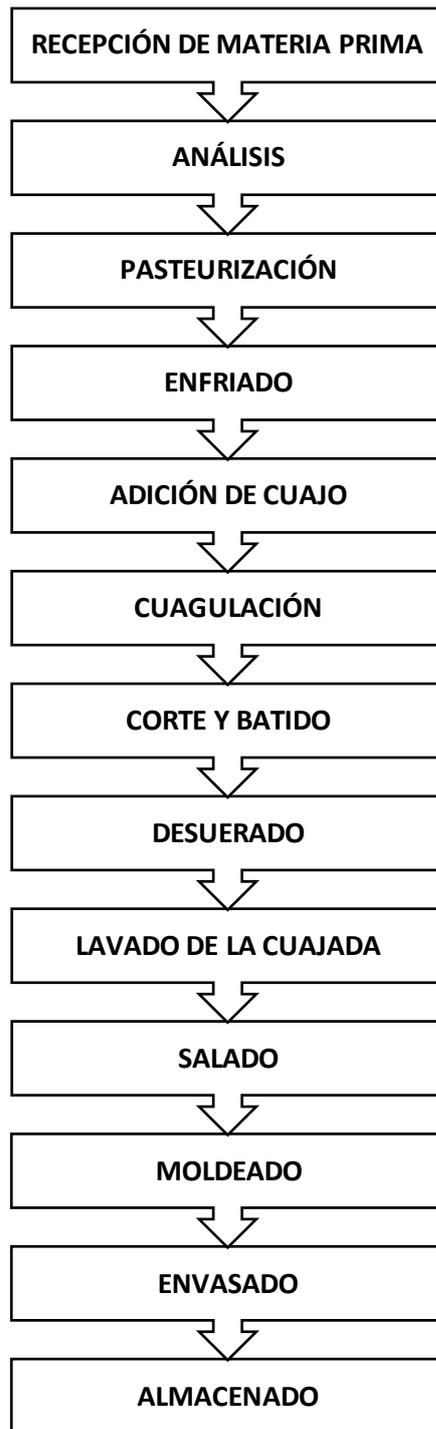


Figura 3. Proceso de producción de queso

Fuente: Autor (2022)

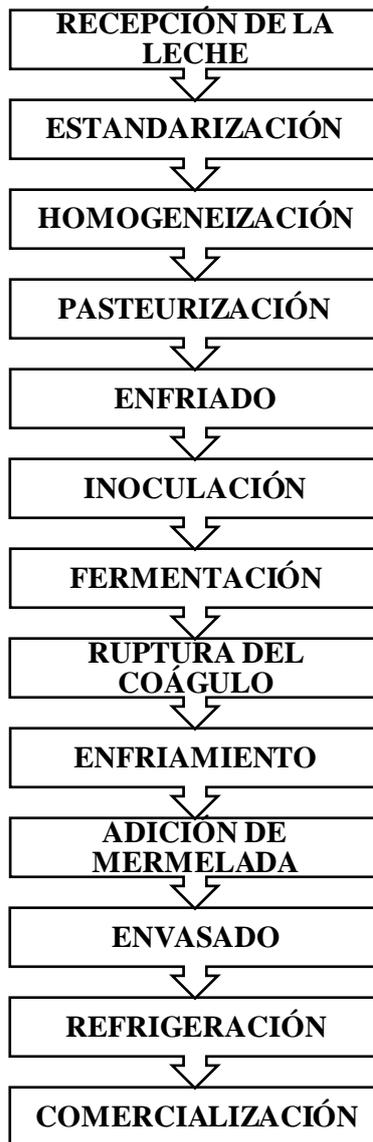


Figura 4. Proceso de producción de Yogurt

Fuente: Autor (2022)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Según la estrategia metodológica utilizada para realizar la investigación, la cual fue desarrollada a partir de observaciones, mediciones, datos y muestras recolectadas directamente en las instalaciones de la empresa El Pajonal, se puede inferirse que fue de campo. Según (Hernández, 2014) éste es un tipo de investigación que se realiza en el medio donde se desarrolla el problema, o en el lugar donde se encuentra el objeto de estudio, donde el investigador recoge la información directa de la realidad.

3.2 Diseño de investigación

Si se analiza la investigación según la clase de medios utilizados (técnicas e instrumentos) para obtener los datos; se puede inferir que la misma tuvo un diseño de campo con apoyo documental.

(Arias, 2012) expone que, el diseño de una investigación es de campo, cuando se realiza un “análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de descubrirlos, interpretarlos, explicar sus causas y efectos; haciendo uso de cualquier enfoque de investigación”; Así mismo, la autora citada, define un diseño documental de investigación, como aquel que realiza análisis de fuentes secundarias de manera sistemática, es decir, material elaborado por otros autores, siendo las principales fuentes de información: textos, tesis, revistas, etc.

Para la elaboración de la propuesta presentada, fue necesario, en principio, llevar a cabo un análisis de la realidad general de la empresa, de la aplicación de su proceso de manufactura, de la generación de residuos líquidos, del proyecto de tratamiento para los mismos. Para documentar el proyecto, se recurrió al apoyo de fuentes bibliográficas, tales como la revisión de trabajos de investigación sobre sistemas de depuración en industrias lácteas; textos e investigaciones afines desarrolladas en otras localidades, textos especializados, entre otros.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Para recolectar los datos existen diversas técnicas e instrumentos, dentro de éstas se pueden encontrar las fuentes primarias, y secundarias. Méndez (2002) citado por Salcedo (2009), define a las primeras, como “información oral o escrita que se recopila directamente por el investigador a través de relatos...”, además “es posible que el desarrollo de la investigación propuesta dependa de la información que el investigador debe recoger en forma directa”; en cuanto a las fuentes secundarias, el autor afirma que “toda investigación implica acudir a este tipo de fuentes, que suministran información básica. Se encuentra en las bibliotecas o bases de datos científicas y está contenida en libros, trabajos de grado, revistas especializadas, enciclopedias, diccionarios...”, entre otras.

Dichas técnicas e instrumentos suministraron la información adecuada para el cumplimiento de los objetivos. Basados en la información descrita anteriormente, se tiene que como fuente primaria se aplicó la observación directa en el área de interés de la empresa, conectando así al investigador con la realidad. Posteriormente, se aplicó la entrevista de tipo no estructurada, al personal que hace vida en la organización, el cual posee los conocimientos técnicos y prácticos que permitieron conocer el proceso productivo generador del efluente a tratar, en donde las preguntas se hicieron de manera abierta, sin formalidades, respondiendo así a las inquietudes de los investigadores.

Así mismo se aplicaron también fuentes de información secundaria, como la revisión documental de libros, trabajos de grados, artículos de revistas arbitradas, información de procesos y técnicas aplicadas en la empresa; para ello se emplearon todas las herramientas disponibles, tanto físicas, como virtuales.

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

En la presente investigación la población objeto de estudio corresponde a todas las industrias lácteas existentes en la provincia de Chimborazo y que generan aguas residuales de sus procesos productivos. En el tamaño de la muestra se trabajó con las aguas residuales generadas por los procesos productivos de la empresa El Pajonal.

Esta industria cuenta con dos zonas que generan las aguas residuales que son la zona de producción y la zona de lavado donde se descarga la materia prima que es la leche; transportada por camiones, camionetas con sus respectivos tanques.

Para el desarrollo de la investigación se tomaron muestras simples; en donde consiste la toma de 3 litros diarios durante 3 días de la semana durante un mes de observación en la empresa El Pajonal en la zona de lavado y de estas muestras se prepararon muestra compuestas semanales para la caracterización fisicoquímica del agua residual. En la zona de producción se tomaron muestras simples de agua de 5 litros durante 3 días durante un mes, a partir de ellas en el laboratorio se prepararon muestras compuestas para su respectiva caracterización.

3.5 Métodos de análisis

3.5.1 Determinación de Caudal

Para la determinación del caudal de las aguas residuales de la industria láctea El Pajonal se aplicaron dos metodologías, debido a que la empresa genera efluentes líquidos en dos zonas: La zona de producción y la zona de lavado y recepción de la leche.

3.5.1.1 Zona de producción

Para la medición del caudal en la zona de producción se utilizó el método de área-velocidad o flotadores (Normalización., 1987). En el cual se utilizaron los siguientes materiales para la medición.

- Una pelota de 6 cm de diámetro para que pueda ser arrastrado por la corriente del agua.
- Un cronometro
- Una cinta métrica.
- Una regla

Para poder medir el caudal en la zona de producción se seleccionó una parte del canal en donde no haya obstrucción alguna y pueda seguir su camino el objeto flotante; luego se tomaron dos puntos para la medición (punto A y Punto B) en el canal a una distancia de 3,5 metros, para la medición se realizaron 7 repeticiones para poder sacar el promedio durante 4 semanas, se tomaron dos medidas en el turno matutino y dos en el vespertino.

Para determinar el caudal se utiliza la siguiente ecuación:

$$Caudal (Q) = \text{Área de la sección transversal} * \text{Velocidad} \quad (1)$$

$\frac{m^3}{s}$ o $\frac{L}{s}$ las unidades de medición.

Para determinar el área de la sección transversal del trapecio se aplicó la fórmula:

$$\text{Área} = \frac{(\text{Base mayor} + \text{base menor})}{2} * \text{altura} \quad (2)$$

Para calcular la velocidad se utiliza la fórmula:

$$\text{Velocidad (V)} = \frac{\text{Distancia (m)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (3)$$

Finalmente, se calcula el caudal de la zona de Producción:

$$Caudal(Q) = \text{Área de la sección} * \text{Velocidad}$$

En el Anexo se reporta la muestra de cálculo del caudal del agua residual generado en la empresa El Pajonal.

3.5.1.2 Zona de lavado o recepción de la leche

Para la medición del caudal en la zona de lavado y recepción de la leche se utilizó el método volumétrico (Alvarado, 2017). En el cual se utilizaron los siguientes materiales para la medición.

- Una jarra de 1 L.
- Un cronometro.

Para la medición del caudal por el método volumétrico se procedió a poner un recipiente de 1 L en una superficie estable y con un ángulo de 90° al caudal de descarga. Se midió el tiempo de llenado del recipiente a la salida de la línea de aguas de salida de la zona de lavado de la empresa Este proceso se realizó dos veces al día, una vez en cada turno de trabajo, se realizaron siete repeticiones por medición para poder estimar un valor promedio.

Para poder calcular el caudal por el método volumétrico se utiliza la siguiente fórmula:

$$Caudal (Q) = \frac{\text{Volumen de agua capturado (L)}}{\text{tiempo de llenado (s)}} \quad (4)$$

3.5.2 Caracterización de las Aguas Residuales

Para la caracterización de las aguas residuales de la empresa El Pajonal como se es explica en el apartado 3.4 se realizaron muestras simples durante 3 días diferentes por semana y en cada zona de generación de las aguas residuales. A partir de las muestras simples se elaboraron las muestras compuestas en el laboratorio de Ciencias Químicas; y se aplicaron los parámetros físicos químicos descritos en la Tabla 2, para la medición de cada parámetro se aplicaron métodos normalizados de análisis para aguas residuales (APHA, AWWA, WPCF, 2017).

Tabla 2 Parámetros físico químicos de análisis de las aguas residuales

Parámetro	Método Normalizado
pH	Método potenciométrico 4500-H ⁺ B
Conductividad eléctrica	Método 2510 B
Turbidez	Método nefelométrico 2130 B
Dureza total	Método 2340 C
Sólidos totales	Método 2540 B
Sólidos sedimentables	Método 2540 B
Aceites y grasas	Método TP0150
Demanda biológica de oxígeno	Método 5210 B
Demanda química de oxígeno	Método 5220 D

Fuente: Autor (2022)

3.5.3 Selección del Sistema del Tratamiento

Para la selección del proceso preliminar, y tratamiento primario se tomaron en cuenta los equipos que garanticen una eficiencia adecuada en función de las características del agua residual, sean bajo costo y que se ajusten a las necesidades de la empresa de lácteos El Pajonal, con el objetivo de reducir especialmente los parámetros de sólidos y grasas, y así evitar posibles dificultades en el tratamiento secundario, para ello se han empleado

diferentes aportes bibliográficos específicos en la depuración de aguas industriales (Técnica Pensa, C.A., 2010; Romero, 2005; Crites & Tchobanoglous; 2000; Metcalf y Eddy, 1995).

En cuanto a la determinación del tratamiento secundario se preseleccionaron cuatro técnicas, ya que se cuenta con proyectos de investigación en donde se observa la viabilidad de cada una, y de esta manera poder evaluar cuál de las técnicas es la más adecuada para la depuración biológica del efluente generado, las técnicas a estudiadas fueron las siguientes:

- Sistema anaerobio tipo UASB
- Pozo Séptico
- Filtros percoladores
- Lodos Activados

Para valorar cuál de las técnicas es la más adecuada para la empresa de lácteos El Pajonal, se aplica el método de factores ponderados según las sugerencias de Bravo (2020), Esta técnica de análisis semi cualitativa se basa en la valoración de diversos factores operacionales y económicos (seleccionados objetivamente por el evaluador) aplicando una escala de ponderación. A continuación, en la Tabla 3 se muestra la escala de puntuación utilizada.

Tabla 3 Valoración cuantitativa de criterios

CRITERIOS	ESCALA DE PUNTUACIÓN
Inadecuado	-4
Malo	-2
Regular	0
Bueno	2
Muy Bueno	4

Fuente: Autor (2022)

Posteriormente se plantea una matriz de ponderación con los criterios de construcción, operación y mantenimiento seleccionados. En la aplicación de este estudio se tomaron las siguientes variables de análisis:

- Eficiencia de remoción de DBO (%)
- Disponibilidad del terreno
- Costos de inversión
- Requerimiento de energía
- Residuos del tratamiento

A estas variables se les asignó subjetivamente una ponderación que varía de 40 a 100 para indicar su peso en importancia, siendo 100 el valor más alto. Por último, se calculó el producto entre puntuación según la escala de la Tabla 3 y la ponderación, y se realizó la sumatoria de dichos productos para cada tecnología. El orden de prioridad se estableció en función a la puntuación que alcanzó cada técnica; es decir el valor más alto indica una condición más favorable.

3.5.4 Diseño de las Unidades de Tratamiento

3.5.4.1 Tanque Homogeneizador

Para dimensionar el tanque homogeneizador se tomaron en cuenta las sugerencias de (Tchobanoglous, 2000).

Procedimiento de cálculo

- Para calcular el volumen del tanque (V), se tomó en cuenta el caudal promedio (1,94 L/s), se asume un tiempo de llenado de 1/2 hora, y se establece el volumen como un valor superior al doble del estimado por seguridad, fundamentalmente con el objetivo de evitar desbordamientos.
- Se supone la profundidad (H) tomando en consideración los parámetros establecidos por la bibliografía, valor estimado de 2 a 2,5m.

- Se calcula el área del tanque:

$$A = \frac{V}{H} \quad (5)$$

3.5.4.2 Sedimentador Primario

El procedimiento realizado se estableció siguiendo la metodología descrita por (Bravo, 2020)

Procedimiento de cálculo

- Se fija el tiempo de retención (T_R) con un valor de 1,5 a 2,5 horas, y la profundidad del tanque (H) de 2 a 4 m, según el diseño propuesto por las bibliografías referenciadas.
- Cálculo del volumen del tanque (V):

$$V = Q * T_R \quad (6)$$

- Cálculo del área del tanque (A):

$$A = \frac{V}{H} \quad (7)$$

- Cálculo del diámetro del tanque (D):

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (8)$$

- Cálculo de la carga hidráulica superficial (C_S):

$$C_S = \frac{Q}{A} \quad (9)$$

- Cálculo de la velocidad de sedimentación (V_S)

$$v_s = \frac{Q}{A} \quad (10)$$

3.5.4.2 Flotación por Aire Disuelto

Para dimensionar esta unidad se toman en cuenta las recomendaciones dadas por (Tchobanoglous, 2000).

Procedimiento de cálculo

- En función de las condiciones atmosféricas locales se fijan los valores de solubilidad del aire a presión atmosférica (C), presión de vapor (Pv), densidad (d), y según la referencia bibliográfica se fija la presión absoluta (P') que va de un rango de 40 a 70 psi, la presión local (PL) que es igual a 760 mmHg, y fracción de saturación en el tanque de presurización, el factor (f) se selecciona entre un rango de 0,5 a 0,8.
- Se calcula la solubilidad del aire en agua a la presión del trabajo (C'):

$$C' = C * \frac{(P' - P_v)}{(760 - P_v)} \quad (11)$$

- Cálculo de la cantidad de aire liberado (CT-CL):

$$CT - CL = C * \frac{f * ((P' - P_v) - (PL - P_v))}{(760 - P_v)} \quad (12)$$

- Se fija el porcentaje de caudal que se recirculará (FR), porcentaje que varía de 20 a 35 %.
- Cálculo de la relación de aire/sólidos (A/S):

$$\frac{A}{S} = C * d * Q_R * \frac{[f * (P' - P_v) - (PL - P_v)]}{S_0 * Q * (760 - P_v)} \quad (13)$$

- Se fija la profundidad total (H), y en función de este valor se determina el diámetro interno (DI) y externo (DE), el diámetro del espesor del tanque (DES), la profundidad del cilindro (HC) y la profundidad del cono truncado (HCT).
- Cálculo del volumen del cilindro (VC):

$$V_C = \frac{(H_C * \pi)}{4} * (D_{ES} - D_E) \quad (14)$$

- Cálculo del volumen del cono truncado (VCT):

$$V_{CT} = \frac{(\pi * H_{CT})}{12} * (D^2 + D_S * D_I + D^2) \quad (15)$$

- Cálculo del volumen del tanque (V):

$$V = V_C + V_{CT} \quad (16)$$

- Cálculo del tiempo de retención (T_R):

$$T_R = \frac{V}{Q} \quad (17)$$

- Y finalmente se determina la velocidad ascensional (V_a):

$$V_a = \frac{Q}{A} \quad (18)$$

3.5.4.3 Lodos Activados

Para dimensionar esta unidad se tomó en cuenta las técnicas descritas en la bibliografía por (Bravo, 2020) en el diseño de este tipo de unidades es fundamental verificar el contenido de nutrientes necesarios para que el proceso biológico sea óptimo.

Procedimiento de cálculo

- Los microorganismos requieren de nutrientes para formar su protoplasma, teóricamente la relación adecuada es de 100/5/1 (DBO/N/P). Se debe calcular la cantidad de nitrógeno y fósforo requerido por medio de las siguientes ecuaciones:

$$N_R = \text{DBO}_{\text{afluente}} / \text{Relación teórica DBO/N} \quad (19)$$

$$P_R = \text{DBO}_{\text{afluente}} / \text{Relación teórica DBO/P} \quad (20)$$

- Se fija el tiempo de retención aireación (θ) comprendido de 4 a 8 horas, y la edad del lodo o tiempo de retención celular (θ_c) de 5 a 15 días.
- Cálculo del volumen del tanque (V):

$$V = Q * \theta \quad (21)$$

- Se fija la profundidad del tanque (H) con un valor de 3 a 4 m.
- Cálculo del área del tanque (A):

$$A = \frac{V}{H} \quad (22)$$

- Para determinar el largo (L) y ancho (B) se toma en consideración:

$$B = L = \sqrt{A} \quad (23)$$

- Cálculo de la carga orgánica (CO):

$$CO = Q * S_0 \quad (24)$$

- Cálculo de la carga orgánica volumétrica (COV):

$$COV = \frac{Q * S_0}{V} \quad (25)$$

- El cálculo de la DBO y SS del efluente se realiza por medio de los balances de remoción que se mostrarán posteriormente.

- Se fijan los valores de coeficiente de declinación endógena (K_d) de 0,04 a 0,08 d^{-1} , y el coeficiente de producción de crecimiento (Y) de 0,4 a 0,8 mgSSV/mg DBO.

- Cálculo de la DBO soluble en el efluente (S_e):

$$S_e = DBO_e \frac{VRSS * RO2celoxi * SSe * relación\ DBO}{DBOUC} \quad (26)$$

- Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles por unidad de volumen ($X*V$):

$$X * V = \frac{(\theta_c * Y * Q * (S_0 - S))}{(1 + K_d * \theta_c)} \quad (27)$$

- Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles (X):

$$X = X * \frac{V}{V} \quad (28)$$

- Cálculo de la relación alimento/microorganismo (A/M):

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * S_0}{X * V} \quad (29)$$

- Cálculo de la producción de lodos en base a SSV (P_x):

$$P_x = \frac{X * V}{\theta_c} \quad (30)$$

- Cálculo de la producción de lodos en base a SST (LSST):

$$L_{SST} = \frac{P_x}{R_{SS}} \quad (31)$$

En cuanto al sistema de aireación en el reactor, se tomó en consideración la eficiencia de transferencia de oxígeno del aireador de 90 %, y la cantidad de oxígeno en el aire en un rango de 0,21 a 0,25 kg O₂/m³ según Romero (2005).

- Cálculo de la DBO última carbonasea (DBOUC):

$$DBOUC = \frac{Q * (S_0 - S)}{\frac{DBO}{DBOUC}} \quad (32)$$

- Cálculo de la demanda de oxígeno (DO):

$$DO = DBOUC - \frac{R_{O_2}}{celoxi * P_x} \quad (33)$$

- Cálculo del caudal de aire teórico (QTaire):

$$Q_{Taire} = \frac{DO}{\frac{O_2}{aire}} \quad (34)$$

- Cálculo del caudal de aire necesario real (QRaire):

$$Q_{Raire} = \frac{Q_{Taire}}{E} \quad (35)$$

- Cálculo del caudal de aire necesario para la DBO removida (AN):

$$A_N = \frac{Q_{Raire}}{[(S_0 - A) * Q]} \quad (36)$$

3.5.4.4 Sedimentador Secundario

El dimensionamiento de esta unidad se basó aplicando las técnicas de cálculo sugeridas por (Romero, 2005).

Procedimiento de cálculo

Se fija la profundidad del tanque (H) entre 3,5 a 4,6 m, además la carga superficial (Cs),

para caudal medio se encuentra entre 16 a 32 m/d y para caudal pico de 41 a 49 m/d.

- Cálculo del área del tanque (A):

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad (37)$$

- Cálculo del diámetro del tanque (D):

$$D = \frac{\sqrt{(4 * A)}}{\pi} \quad (38)$$

- El volumen del tanque se calcula por la ecuación (V):

$$V = \frac{(D^2 * \pi)}{4} * H \quad (39)$$

- Cálculo del tiempo de retención (TR):

$$T_R = \frac{V}{Q} \quad (40)$$

A continuación, los cálculos que proceden se basan en la recirculación de los lodos que salen del sedimentador secundario, una parte se vuelve a incorporar en la planta de tratamiento y el restante será tratado.

- Se fija el porcentaje de recirculación del caudal (R) valor que varía en un intervalo de 25 a 70 %, y se calcula el caudal que será recirculado (QR):

$$Q_R = R * Q \quad (41)$$

- Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos volátiles recirculados (X_R):

$$D = \frac{(Q * X)}{Q_R} - X \quad (42)$$

- Cálculo de la concentración de SS en el lodo sedimentado (SSLODO):

$$SS_{Lodo} = \frac{X_R}{R_{SSV}} \quad (43)$$

- Para calcular la concentración de los SS del efluente (X_e) se realiza el balance de remoción.

- La producción de lodos en base a SSV, se observa en el procedimiento de cálculo del tanque de aireación.
- Cálculo del caudal purgado (Q_w):

$$Q_w = \frac{PX - (Q * X_e)}{X_R - X_e} \quad (44)$$

3.6 Procedimiento de cálculo del balance de remoción

El procedimiento de cálculo de balance de masa se realizó de la siguiente manera:

- Se fija el porcentaje de remoción para cada parámetro (R) de acuerdo a un rango establecido por las bibliografías especializadas en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Se calcula la concentración de salida de cada parámetro restando al valor de entrada el porcentaje de remoción por el mismo valor.
- Los parámetros de control para el tamizado son SST, DBO y DQO, mientras que, para el sedimentador primario, sistema de flotación por aire disuelto, tanque de lodos activados y sedimentador secundario son SST, DBO, DQO y grasas (Bravo, 2020).

3.7 Procesamiento de datos

La técnica de análisis de datos simboliza la forma de cómo será procesada la información recogida, esta se puede procesar de manera cualitativa o cuantitativa.

3.7.1 Análisis Cualitativo

Según (Sabino, 2016), el análisis cualitativo se refiere al que procedemos a hacer con la información de tipo verbal que, de un modo general se ha recogido mediante fichas de uno u otro tipo. Es preciso tomar cada uno de los grupos, para proceder a analizarlos. El análisis se efectúa cotejando los datos que se refieren a un mismo aspecto y tratando de evaluar la fiabilidad de cada información.

En este sentido se realizó en la presente investigación una observación directa de las características físicas de las aguas residuales (color, olor) tanto en la zona de producción como en la zona de producción como en la zona de lavado, además, de los distintos procesos que posee la empresa de lácteos El Pajonal en línea de producción y la disposición de los efluentes líquidos generados; estos valores no se pueden cuantificar en observación directa.

3.7.2 Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo se define como: “una operación que se efectúa, con toda la información numérica resultante de la investigación (Sabino, 2016).

Por consiguiente, este análisis permite que la presente investigación pueda cuantificar los resultados obtenidos en el estudio de la caracterización fisicoquímica de las muestras de las aguas residuales y procesarlos por medio de un conjunto de tablas y gráficas. Esto permite evaluar los porcentajes y representar gráficamente los resultados de los datos obtenidos para tener la información ordenada con representaciones visuales que favorecen su posterior estudio y mejor entendimiento.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación del caudal

La empresa El Pajonal genera aguas residuales de dos zonas:

La primera zona que es la de producción se encuentra en la parte posterior de la entrada principal donde se producen diversas variedades de quesos, yogurt y mantequilla; en la Tabla 4 se reportan los valores obtenidos.

Tabla 4 Medición del caudal de la zona de producción

Semana	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)
1	0,003075	0,45	0,001383	1,3830
2		0,44	0,001353	1,3530
3		0,42	0,001292	1,2920
4		0,43	0,001322	1,3220
		Promedio	0,001367	1,3670

Fuente: Autor (2022)

La segunda zona que es la de lavado y recepción de la leche que se ubica en la entrada principal de la empresa, donde los micro productores de leche llegan hacer la entrega del producto. Aplicando el método volumétrico se obtienen los resultados reportados en la Tabla 5.

Tabla 5 Medición del caudal de la zona de lavado o recepción de la leche

Semana	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	1	1,70	0,588
2	1	1,82	0,550
3	1	1,82	0,550
4	1	1,66	0,604
		Promedio	0,573

Fuente: Autor (2022)

Tanto en la zona de producción como en la zona de lavado se observó mediante los cálculos obtenidos el promedio del caudal de cada zona para poder de esta manera tener el caudal total de efluentes a tratar en la planta de tratamiento (Tabla 6).

Tabla 6 Caudales promedios de las dos zonas de la empresa

ZONA	CAUDAL (m ³ /s)	CAUDAL (L/S)
Producción	0,001367	1,367
Recepción	0,000573	0,573
Total	0,001940	1,940

Fuente: Autor (2022)

4.2 Caracterización de las aguas residuales

En la Tabla 7 se reflejan los resultados obtenidos de los análisis realizados para la caracterización de las aguas residuales de la empresa láctea El Pajonal, los valores reportados son los promedios de las mediciones perpetuadas a las muestras compuestas semanales.

Tabla 7 Caracterización de las aguas residuales

PARÁMETROS	VALOR MEDIDO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE SEGÚN LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE (TULSMA Anexo I del Libro IV)*
pH	4,32	5-9
Turbidez (NTU)	176,8	-
Conductividad eléctrica (μS/cm)	725	-
Alcalinidad (mg/L)	198	-
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1484,4	220
Sólidos sedimentables (mg/L)	576,8	20
Dureza total (mg/L)	267,8	-
Aceites y grasas (mg/L)	378,1	100
DBO ₅ (mg/L)	3515	250
DQO (mg/L)	4950	500

En la caracterización de las aguas residuales de la muestra compuesta se puede notar que todos los parámetros normados superan el límite permisible según la normativa ambiental vigente (TULSMA, 2017), en cuanto a la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

El agua residual de la empresa láctea es ácida con un nivel elevado de Turbidez producto de la concentración de sólidos, los parámetros de alcalinidad, conductividad y dureza no están normados, pero sus valores indican la presencia de sales disueltas en la descarga industrial, además, el nivel de 267,8 mg/L CaCO₃, es indicativo que el agua residual es extremadamente dura (Prato et al., 2021; 2022).

Tanto la DBO como la DQO superan en mayor cantidad el límite permisible, esto se debe a la alta carga orgánica que vienen de los desechos de la producción como es la mantequilla, la variedad de quesos y el yogurt; las grasas también superan más de 3 veces el valor permitido y aquí también viene asociado con lo que es la producción de la empresa y estos valores no cumplen con la normativa ambiental dada por el TULSMA.

4.3 Selección del sistema de tratamiento

Se presenta en la Tabla 8 el estudio de la aplicación del método de los factores ponderados para la selección del sistema de tratamiento secundario donde se evaluaron:

- Reactor Anaerobio tipo UASB,
- Pozo Séptico,
- Filtros Percoladores y
- Sistema de Lodos Activados.

Tabla 8 Valoración cuantitativa de criterios

FACTOR	PESO	Sistema Anaerobio Tipo UASB		Pozo Séptico		Filtros Percoladores		Lodos Activados	
		E	P	E	P	E	P	E	P
Eficiencia de remoción de DBO	100	2	200	-2	-200	2	200	4	400
Remoción de sólidos suspendidos	85	-2	-170	0	0	2	170	4	340
Disponibilidad del terreno	80	2	160	2	160	2	160	2	160
Costo de inversión	75	2	150	2	150	0	0	2	150
Requerimiento de energía	70	2	140	2	140	2	140	2	140
Adaptabilidad a cambios operacionales	60	0	0	-2	-120	0	0	2	120
Costo de operación y mantenimiento	50	2	250	2	100	0	0	0	0
Generación de residuos del tratamiento	40	4	160	2	80	-2	-80	2	80
¿Totales (Σ)		890		470		590		1390	
Orden de prioridad		2		4		3		1	

E: Escala, P: Puntaje

Fuente: Autor (2022)

Como se puede observar en al comparar los valores totales de cada sistema, analizado los factores que se escogieron, se nota que el sistema más adecuado para instalar en la empresa El Pajonal es el Tratamiento por Lodos Activados.

A continuación, en la Tabla 9 se detalla cada unidad del tratamiento que se le brindará al agua residual resultante de la planta de lácteos.

Tabla 9 Selección de las unidades de Tratamiento

TRATAMIENTO	OBJETIVO DEL PROCESO	UNIDAD
Preliminar	Mezclar las cargas hidráulicas horarias y de contaminantes	Homogeneizador
Primario	Sedimentar los flocúlos formados en el proceso anterior	Sedimentador primario
	Disminuir el contenido de grasas del agua residual	Flotación por aire disuelto
Secundario	Reducir la materia orgánica	Lodos activados
	Separar los lodos, el agua tratada y recirculación del lodo	Sedimentador secundario

Fuente: Autor (2022)

El tren de tratamiento propuesto, se representa gráficamente en la Figura 5, donde se especifica cada unidad que conforma el sistema de depuración de las aguas residuales de la planta de lácteos en estudio.

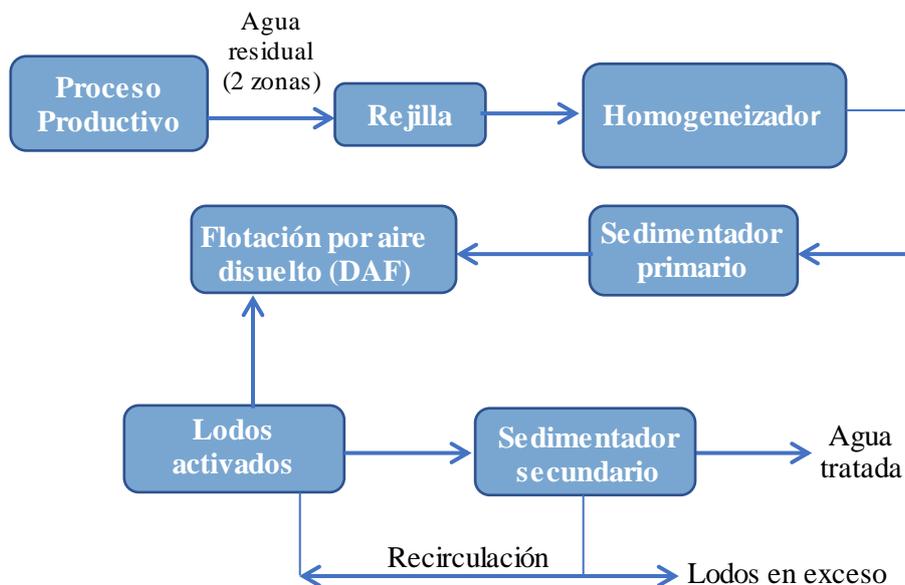


Figura 5. Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Autor (2022)

4.4 Diseño de los equipos de tratamiento

4.4.1 Tanque Homogeneizador

Se ha propuesto colocar este tanque después del sistema de rejillas que cuenta la empresa El Pajonal, debido a que las descargas de aguas residuales son discontinuas, este homogeneizador permitirá tener un caudal constante además evitará que existan problemas operacionales en el tren de tratamiento.

Se recomienda emplear bombas sumergibles para mezclar el agua residual, y así asegurar un caudal continuo y con la velocidad adecuada. Para el dimensionamiento se tomó en cuenta la metodología de diseño expuesta por (Tchobanoglous, 2000). En la Tabla 10 se reportan los datos tomados para el diseño y el dimensionamiento del tanque homogeneizador.

Tabla 10 Dimensionamiento del tanque homogeneizador

Parámetro	Nomenclatura y unidades	Valor
Caudal	Q (m ³ /h)	6,98
Volumen del tanque	V (m ³)	7,68
Profundidad	H (m)	1,50
Área del tanque (5)	A (m ²)	5,12
Largo	L (m)	1,00
Ancho (5)	B (m)	5,12

*Los valores en paréntesis indican el número de ecuación utilizada

Fuente: Autor (2022)

4.4.2 Sedimentador Primario

Para dimensionar esta unidad es de suma importancia fijar el tiempo de retención, así como la carga hidráulica con la que ingresa el agua residual al equipo, el efecto que conlleva estos dos valores a la unidad de sedimentación primario influenciará en la remoción de DBO₅ y SST (Bravo, 2020).

Se recomienda construir dos unidades de sedimentación primaria de ser posible, esto con el fin de certificar el buen funcionamiento de la planta de tratamiento al momento de realizar un mantenimiento o limpieza a una de las unidades.

El sedimentador primario será circular ya que a diferencia de los rectangulares la

barredora de lodos requiere de menos partes móviles que el mecanismo de arrastre de un sedimentador rectangular e incluso los costos de construcción son menores, según Romero (2005).

Además, de ser necesario según las características fluctuantes del agua residual industrial, se recomienda emplear una pantalla de acero inoxidable antes de la salida del sedimentador primario a una distancia aproximada de 0,6 m a 1,0 m y con una profundidad desde el nivel del agua de 0,3 m a 0,5 m, con el fin de retener sólidos flotantes.

La salida del efluente será a través de bombeo y por una tubería pasará al sistema de flotación por aire disuelto. Se recomienda que la extracción de lodos sea mecánica para agilizar su salida y la limpieza de las unidades, también se podría adecuar a la barredora de lodos con una desnatadora para que se extraiga los sólidos flotantes con mayor facilidad. Estos lodos pueden ser transportados por tuberías de un diámetro no menos de 25 cm.

Si no se dispone de la posibilidad de usar la barredora, se recomienda cambiar el fondo plano del tanque, por un fondo con una inclinación de 10 a 15 ° para que el lodo se acumule en un extremo del sistema, y poder realizar la extracción al momento de mantenimiento de la unidad de sedimentación, esta opción elimina el uso de la barredora de fondo y disminuye el costo de mantenimiento y operación del sedimentador. En la Tabla 11, se reportan los valores seleccionados de las recomendaciones expuestas en el apartado de la metodología, así como las dimensiones de esta unidad (Bravo, 2020).

Tabla 11 Datos y dimensiones del sedimentador primario

Parámetro	Nomenclatura y unidades	Valor
Caudal de diseño	Q (m ³ /h)	6,984
Tiempo de retención	T _R (h)	2,50
Profundidad del tanque	H (m)	2,50
Volumen del tanque (6)	V (m ³)	0,728
Área del tanque (7)	A (m ²)	0,291
Diámetro del tanque (8)	D (m)	0,609
Carga superficial (9)	C _S (m/d)	576,00
Velocidad de sedimentación (10)	V _S (m/h)	24,00

*Los valores en paréntesis indican el número de ecuación utilizada

Fuente: Autor (2022)

En la Tabla 12 se observa el nivel de remoción que proporciona el sedimentador primario, se tomó encuesta los rendimientos de Romero (2005):

Tabla 12 Balance de remoción del sedimentador primario

Parámetro	% de remoción	% seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SST	50-65%	55	1484,40	667,98
DBO	10-40%	30	3339,25	2337,48
DQO	30-40%	40	4702,50	2821,50
Grasas	10-40%	40	378,10	226,86

Fuente: Autor (2022)

Se logró la eliminación considerable de SST, pero a la vez, la cantidad de grasas es elevada lo que puede resultar en un gran inconveniente para el tratamiento secundario, por tal motivo es necesario instalar un equipo de eliminación de grasas (DAF).

4.4.3 Flotación por Aire Disuelto

Esta unidad fue seleccionada debido al tipo de agua residual que es necesario tratar, el efluente resultante del sedimentador primario posee una gran concentración de grasas (Tabla 12), muy por encima del límite permisible (Tabla 7), además estas grasas se convierten en un problema para continuar con el tratamiento secundario del agua residual.

Es importante señalar que los sistemas de flotación por aire disuelto permiten remover grasas, aceites y sólidos en suspensión, tienen elevadas tasas de remoción y simplicidad constructiva y operativa (Romero, 2005).

La Tabla 13, presenta los parámetros para el diseño de la primera unidad de flotación por aire disuelto (DAF).

Tabla 13 Datos para el dimensionamiento del sistema de flotación (DAF)

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Sólidos suspendidos totales a la entrada	S_0 (mg/L)	667,98
Presión absoluta del aire	P' (psi)	45,00
Solubilidad del aire en agua a presión atmosférica	C' (mL aire/ L agua)	6,50
Presión de vapor del agua	P_v (mmHg)	11,30
Presión Local	P_L (mmHg)	760,00
Densidad	d (mg/mL)	1,00
Fracción de saturación	F	0,60
Solubilidad del aire en agua a presión P' (11)	C' (mL aire/ L agua)	20,11
Cantidad de aire liberado (12)	$C_T - C_L$ (mL aire/ L agua)	8,1634

*Los valores en paréntesis indican el número de ecuación utilizada

Fuente: Autor (2022)

A partir de los parámetros seleccionados (Tabla 13) y aplicando la metodología de cálculo descrita en el capítulo 3, se obtienen los resultados de las dimensiones y requerimientos de la unidad DAF (Tabla 14).

Tabla 14 Dimensionamiento del sistema de flotación por aire disuelto

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q (L/s)	1,94
Porcentaje de recirculación	FR (%)	25
Caudal recirculado	QR (L/s)	0,49
Relación aire /sólido (13)	A/S	0,002
Altura del tanque	H (m)	2,32
Altura del cilindro	HC (m)	0,85
Altura del cono truncado	HCT (m)	1,47
Superficie de flotación	A (m ²)	1,80
Díámetro externo del tanque	De (m)	1,80
Díámetro interno del tanque	DI (m)	1,50
Díámetro del espesor	Des (m)	2,00
Volumen del cilindro (14)	VC (m ³)	0,13
Volumen del cono truncado (15)	VCT (m ³)	2,79
Volumen del tanque (16)	V (m ³)	2,92
Tiempo de retención (17)	TR (min)	1,51
Velocidad ascensional (18)	V_a (m/h)	1,08

*Los valores en paréntesis indican el número de ecuación utilizada

Fuente: Autor (2022)

Se debe tener claro la importancia de realizar pruebas pilotos para determinar qué tan eficiente es la unidad, y dependiendo de esto se decidirá si es o no necesario dosificar químicos, es decir si se necesita un proceso de coagulación- floculación.

En la Figura 6 se muestra el sistema de flotación de aire disuelto y sus dimensiones.

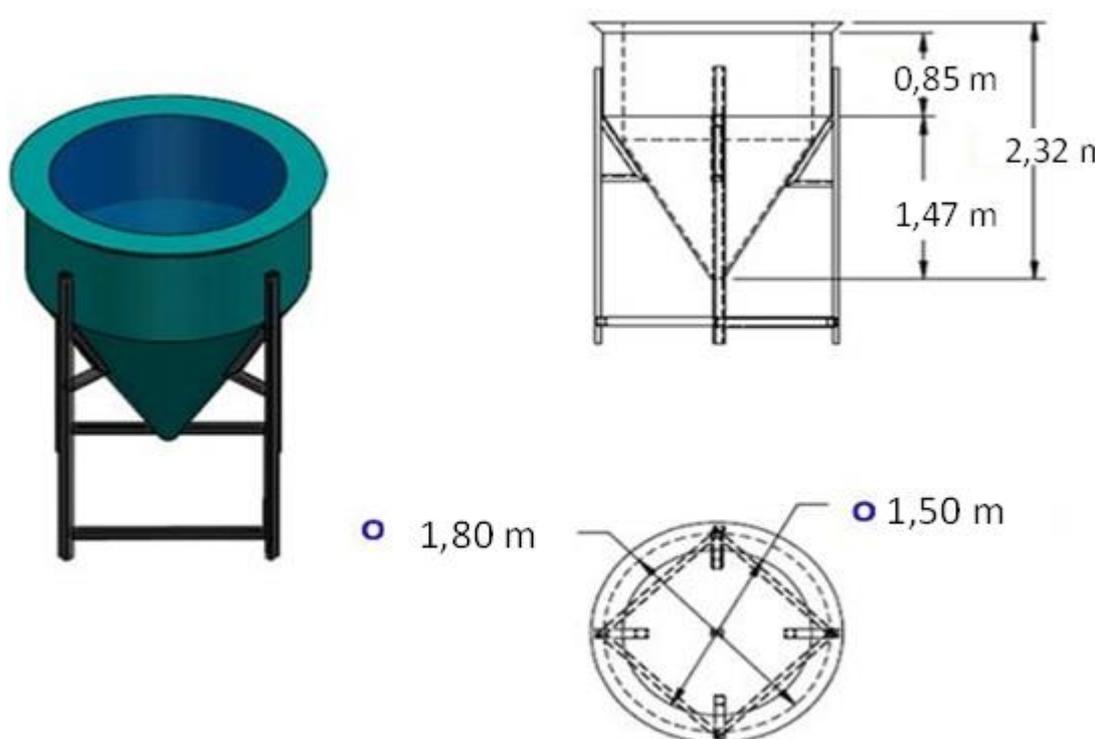


Figura 6 Esquema del sistema de flotación por aire disuelto (DAF).

Fuente: Autor (2022)

En la Tabla 15 se observa el balance de remoción del sistema de flotación por aire disuelto, tomándose en cuenta lo expuesto por Romero (2005):

Tabla 15 Balance de remoción del sistema de flotación por aire disuelto

Parámetro	% de remoción	% Seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SST	70-95%	85	667,98	100,20
DBO	10-50%	40	2284,75	1370,85
DQO	10-25%	25	3217,50	2413,13
Grasas	60-95%	90	264,67	26,47

4.4.4 Tanque Lodos Activados

Para el diseño del tratamiento secundario se realizó la elección del proceso biológico que permitiera remover la mayor cantidad de materia orgánica y demás componentes en exceso que están presentes en el agua residual.

En la elección del proceso biológico se procedió como primer paso a realizar comparaciones de las ventajas y desventajas de los procesos aerobios y anaerobios, llegando a la conclusión que es más recomendable el proceso aerobio debido a que entre sus ventajas está que no produce malos olores y a su vez se evita la proliferación de insectos u otros animales que pueden ser transmisores de enfermedades así como, de contaminar la materia prima, productos y las instalaciones de la receptoría y siendo delicado debido a que ésta es una empresa pequeña, que necesita sistemas prácticos adecuados a sus necesidades.

De los tratamientos biológicos aerobios se escogió el proceso de lodos activados convencional (Tabla 8) el cual consiste en colocar el agua residual en un sistema de aireación con una masa floculenta de microorganismos y materiales inorgánicos, también llamada floc biológico que tiene la propiedad de poseer una superficie activa permitiendo la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, además, del tratamiento de la carga orgánica del agua residual.

En todo proceso de tratamiento biológico se requiere que los microorganismos reciban los nutrientes necesarios para formar el protoplasma. La bibliografía generalmente expresa y recomienda expresar la necesidad de nutrientes en forma de relación DBO/N/P, teóricamente la relación adecuada con pequeñas variaciones es de 100/5/1 (Romero, 2005).

Se recomienda colocar dos tanques de aireación que se dispondrán en paralelo y que tendrán las mismas dimensiones, esta elección mantiene la eficiencia de depuración del agua y al momento de realizar la limpieza a uno de los tanques queda en funcionamiento el otro y no se tendría que parar la planta (Tchobanoglous, 2000).

A continuación, se presentan la Tabla 16 muestra los datos de entrada del agua residual al tanque de lodos activados, es importante resaltar que los contenidos de P y N son tomados de la bibliografía por no contarse con esos datos (Bravo, 2020) y la Tabla 17 que muestra los requerimientos de nutrientes para el proceso.

Tabla 16 DBO y nutrientes presentes en el agua residual a la entrada del Tanque de aireación de lodos activados.

Parámetro	Unidad	Valor
DBO	mg/L	2337,48
DQO	mg/L	2821,50
SST	mg/L	667,98
N*	mg/L	76,84
P*	mg/L	17,52

*Fuente: Autor (2022) * (Bravo, 2020)*

Tabla 17 Nutrientes requeridos para el proceso de lodos activados.

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Nitrógeno requerido (19)	N _R (mg/L)	64,28
Fósforo requerido (20)	F _R (mg/L)	12,85
Relación DBO/N/P		100/5/1

Fuente: Autor (2022)

Los tanques de aireación tendrán forma cuadrada, se construirán de concreto armado, si se construyen los dos tanques se propone que compartan una pared, disminuyendo costos de construcción y uso de espacio físico. Se sugiere para el sistema de aireación del proceso utilizar aireadores de turbina rápida o superficial, los cuales se colocarán en el centro del tanque de ser uno y si se requiere más de un aireador se ubican verificando la distancia que debe tener uno del otro, estos con una eficiencia aproximada del 90% (Tchobanoglous, 2000).

La bibliografía especializada (Romero, 2005; Crites & Tchobanoglous, 2000 y Técnica Pensa, C.A., 2010), dan una serie de recomendaciones para el diseño de esta unidad, las cuales son: el tiempo de retención hidráulico o tiempo de aireación comprendidos de 4 a 8 horas, edad del lodo o tiempo de retención celular de 5 a 15 días, relación en masa de DBO/DBOUC de 0,68, relación en masa de oxígeno consumido/células oxidadas de 1,42; remoción de sólidos suspendidos biodegradables de 70 a 80 %, coeficiente de declinación endógena (Kd) de 0,04 a 0,08 d⁻¹, coeficiente de producción de crecimiento (Y) de 0,4 a 0,8 mg SSV/ mg DBO. El valor seleccionado para el diseño tanto para caudal promedio como para pico se muestra a continuación.

En las Tablas 18 y 19 se reportan los resultados de los cálculos realizados para el dimensionamiento del tanque de lodos activados y requerimiento de oxígeno para el reactor biológico.

Tabla 18 Datos y dimensionamiento del tanque de aireación de lodos activados

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q_{Dis} (L/s)	1,94
Tiempo de retención hidráulico o aireación	θ (h)	12,00
Edad de lodos o tiempo de retención celular	θ_c (d)	5,00
Volumen del tanque (21)	V (m ³)	23,28
Profundidad del tanque	H (m)	3,00
Área del tanque (22)	A (m ²)	7,76
Ancho del tanque (23)	B (m)	2,78
Largo del tanque (23)	L (m)	2,78
Carga orgánica (24)	CO (g DBO /d)	135,6
Carga orgánica volumétrica (25)	COV (g DBO /m ³ .d)	5,19
Relación en masa DBO/DBOUC	(mg DBO/ mg DBOUC)	0,68
Relación en masa O ₂ consumido/ células oxidadas	(mg O ₂ cons/ mg Células oxi.)	1,42
Remoción de SS biodegradable	Rss (%)	85,00
DBO efluente	DBOe (mg/L)	92,00
SS efluente	SSe (mg/L)	50,00
DBO soluble efluente (26)	Se (mg/L)	92,00
Coefficiente de declinación endógena	Kd (d ⁻¹)	0,045
Coefficiente de producción de crecimiento	Y (mg SSV/ mg DBO)	0,48
DBO	So (mg/L)	1285,61
Sólidos suspendidos volátiles*volumen (27)	X*V (mg SSV)	405763034,0

Fuente: Autor (2022)

* Los valores en paréntesis indica el número de la ecuación utilizada.

Tabla 19 Datos y dimensionamiento del tanque de aireación de lodos activados
(Continuación).

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Sólidos suspendidos volátiles (28)	X (mg/L)	17589,368
Relación en masa alimento/microorganismos (29)	A/M (g DBO /gSSV*d)	0,42
Producción de lodos en base a SSV(30)	P _x (kg/d)	36,58
Producción de lodos en base a SST (31)	L _{SST} (kg/d)	43,04

Fuente: Autor (2022)

* Los valores en paréntesis indica el número de la ecuación utilizada.

Para la aireación en el reactor se tomaron las consideraciones para el diseño recomendadas en la bibliografía especializada (Tabla 20), como la eficiencia de transferencia de oxígeno del aireador de 90 % (Romero, 2005) y la cantidad oxígeno en el aire está entre 0,21 a 0,25 kg O₂/m³ (Tchobanoglous, 2000).

Tabla 20 Aireación en el reactor biológico.

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Concentración de DBOUC utilizada (32)	DBOUC _U (kgDBOUC/d)	3472,06
Demanda de oxígeno (33)	DO ₂ (kg O ₂ /d)	3420,12
Demanda de oxígeno	DO ₂ (kg O ₂ /h)	142,50
Eficiencia del equipo en transferir O ₂	E (%)	90,00
Cantidad de oxígeno en el aire	O ₂ / Aire (kg O ₂ / m ³ aire)	0,21
Caudal de aire teórico (34)	Q _{Taire} (m ³ aire/d)	678,59
Aire necesario real (35)	Q _r (m ³ aire/d)	753,99
Aire necesario para la DBO removida (36)	A _N (m ³ aire/ kg DBO _R)	0,3

Fuente: Autor (2022)

* Los valores en paréntesis indica el número de la ecuación utilizada.

En la Figura 7 se muestra el tanque de aireación de lodos activados y las dimensiones del mismo.

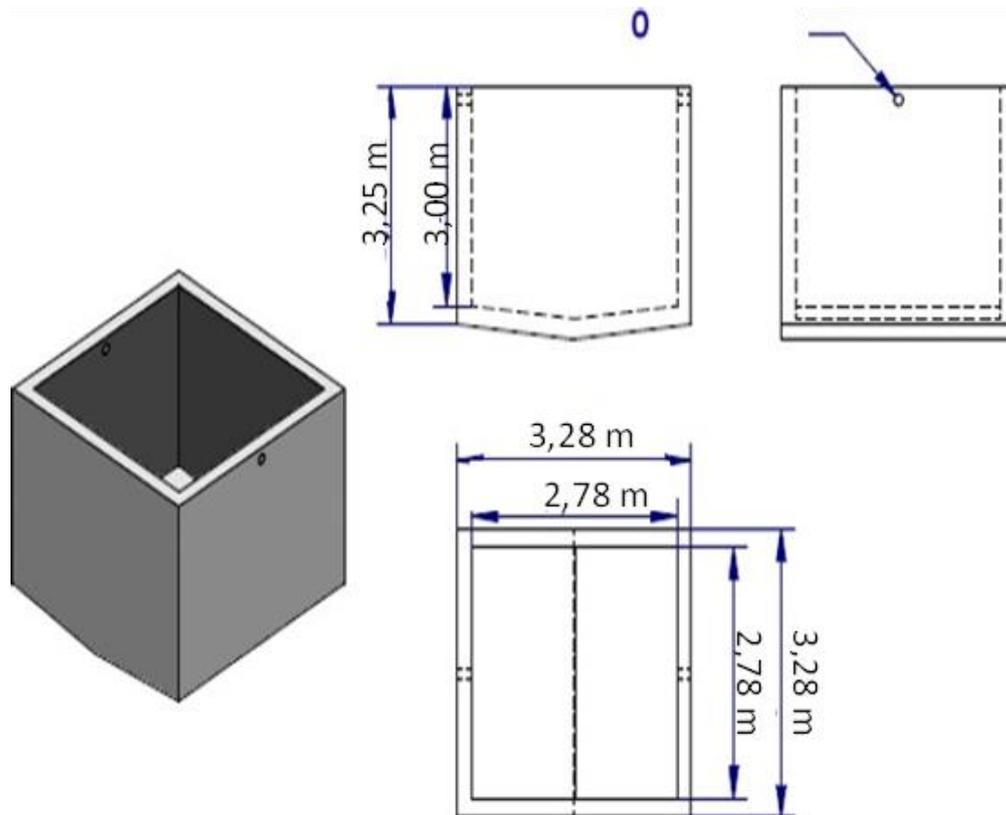


Figura 7 Dimensiones del tanque de aireación de lodos activados

Fuente: Autor (2022)

Una vez dimensionada la unidad biológica se realiza el balance teórico de eficiencia de remoción, para ver la calidad del agua residual obtenida después de este sistema de depuración (Tabla 21).

Tabla 21 Balance de Remoción de sistema de Lodos Activados

Parámetro	% remoción	% seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SS	10-40%	10	100,20	90,17
DBO	80-95%	90	1285,61	128,56
DQO	80-85%	85	2257,20	338,58
N	15-50%	50	76,84	38,42
P	10-25%	25	16,55	12,41
Grasas	10-25%	25	22,69	17,02

Fuente: Autor (2022)

4.4.5 Sedimentador Secundario

La bibliografía especializada recomienda que luego de un tratamiento biológico aerobio continuarse con una sedimentación secundaria, en este caso es necesario debido a que la mezcla de agua residual con floc biológico en suspensión que se genera y sale del proceso de lodos activados es separado en esta unidad de tratamiento, lográndose de esta manera un agua clarificada (tratada) y con mejores condiciones para ser descargada.

Se recomienda un sedimentador secundario de forma circular y en el cual se realizará la extracción de lodos de forma mecánica, recomendando barredores de extracción central, no se recomienda colocar dos debido a que estas unidades ocupan gran espacio físico y además no sería necesario ya que su extracción de lodos es mecánica facilitando el mantenimiento de las mismas, esto se cumple si se mantiene buenas condiciones de funcionamiento.

Para el dimensionamiento se tomaron en cuenta las recomendaciones que sugiere la bibliografía especializada como Romero (2005), así como también las recomendaciones dada por (Tchobanoglous, 2000). Las cuales fueron profundidad del tanque este entre 3,7 a 4,6 m, la carga superficial para caudal medio se encuentre de 16 a 32 m/d y para caudal pico de 41 a 49 m/d. En la Tabla 22 se reflejan los datos para el dimensionamiento de esta unidad.

Tabla 22 Datos para el diseño del sedimentador secundario

Parámetro	Nomenclatura y Unidades	Valor
Caudal de diseño	Q_{Dis} (m ³ /h)	6,98
Profundidad del tanque	H (m)	3,50
Carga superficial	Cs (m/d)	28
Área del tanque (37)	A (m ²)	5,99
Diámetro del tanque (38)	D (m)	2,76
Volumen del tanque (39)	V (m ³)	6,67
Tiempo de retención (40)	T _R (h)	0,95

Fuente: Autor (2022)

* Los valores en paréntesis indica el número de la ecuación utilizada.

La tolva donde se dispondrán los lodos tendrá una inclinación al centro del 14 % y lo que refleja que la extracción será central (Romero, 2005).

Es importante calcular el caudal de recirculación de los lodos, el caudal de los lodos que van al espesador y las características de los mismos, para de esta manera seleccionar los equipos de extracción de lodos, así como los de recirculación. Romero (2005), sugiere un intervalo para la recirculación de 25 a 70 %, se tomará una recirculación de 35 %, (Tchobanoglous, 2000). sugieren una fracción de sólidos suspendidos volátiles en el lodo de 59 a 88 %. A continuación, se presentan los resultados del dimensionamiento de la recirculación en esta unidad de tratamiento:

Tabla 23 Recirculación de los lodos producidos en el sedimentador secundario

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Caudal diseño	Q_{Dis} (m ³ /d)	167,61
Recirculación	R (%)	45,00
Caudal recirculado (41)	Q_R (m ³ /d)	75,42
Sólidos suspendidos volátiles	X (mg/L)	17589,36
Concentración de SSV (42)	X_r (mg/L)	21498,11
Fracción de SSV en el lodo	R_{ssv} (%)	70,00
Concentración de SST en lodo (43)	SS_{Lodo} (mg/L)	20340,89
SS a la salida	X_e (mg/L)	5,49
Producción de lodos en base a SSV	P_x (kg/d)	27,19
Caudal purgado (44)	Q_w (m ³ /d)	1,84

Fuente: Autor (2022)

Finalmente, se realiza el balance de remoción teórico alrededor del sedimentador secundario, aplicando los porcentajes de eliminación de cada parámetro según Romero (2005), los resultados de la calidad del agua tratada se reportan en la Tabla 24.

Tabla 24 Balance de Remoción del sedimentador secundario

Parámetro	% remoción	% seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SS	40-70%	40	90,17	54,10
DBO	25-40%	30	128,56	89,99

DQO	25-35%	25	338,58	253,94
Grasas	10-40%	40	17,02	10,20

Fuente: Autor (2022)

Al comparar los niveles de los cuatro parámetros de control del agua residual de la Tabla 25, con los límites permitidos por la normativa nacional (Tabla 8), se observa que una vez que el agua residual de la empresa El Pajonal ha sido depurada por el sistema propuesto y dimensionado, se obtiene un agua con niveles por debajo a los mínimos exigidos por el TULSMA (2017), por lo tanto, el sistema diseñado permitiría tratar los efluentes de la industria láctea. En la Figura 8 se muestra el sedimentador secundario y las dimensiones del mismo.

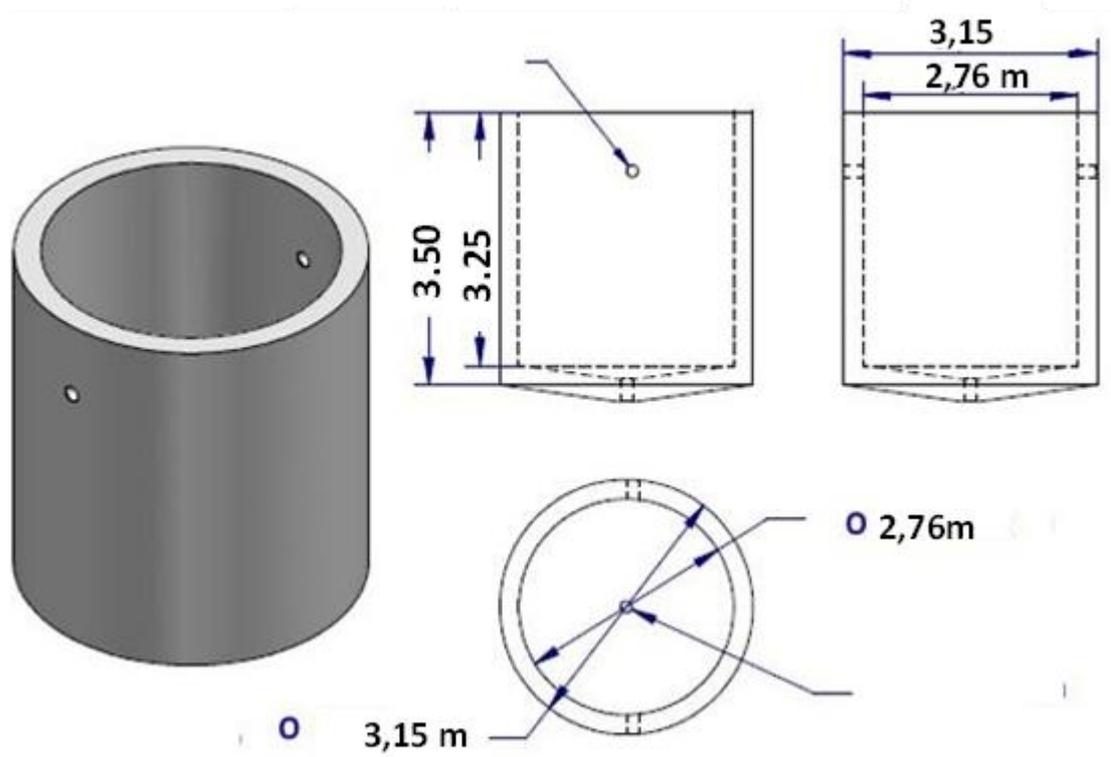


Figura 8. Esquema del sedimentador secundario y sus dimensiones

Fuente: Autor (2022)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La selección del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la empresa El Pajonal se enfocó principalmente en las características físico – químicas, y a su vez se estableció un caudal de diseño en promedio de 1,94 L/s.
- Analizando el proceso que se lleva a cabo en la Empresa de Lácteos “El Pajonal”, se pudo determinar que el caudal es estable o fijo, por lo que en la producción de quesos, yogurt y mantequilla realizan el mismo proceso a diario.
- El agua residual a tratar presentó contenidos de materia orgánica que no cumplen con la normativa nacional como la DBO₅ de 3515 mg/L, grasas de 378,1 mg/L y DQO de 4950 mg/L
- El tren de tratamiento para el agua residual seleccionado y dimensionado consta de un tanque homogeneizador como pretratamiento, un sedimentador primario y un sistema de flotación por aire disuelto como tratamiento primario, un proceso convencional de lodos activados con aireación y sedimentación secundaria como tratamiento secundario.
- Los criterios para el diseño de cada una de las unidades de tratamiento seleccionadas se basaron en las exigencias de la empresa, la mínima producción de malos olores, poco requerimiento de personal en la operación y mantenimiento, factibilidad técnica y eficiencia teórica de remoción de las unidades por lo que se deben corroborar los porcentajes teóricos de eficiencia tomados.
- La propuesta de tratamiento realizada permitirá obtener efluentes con niveles finales por debajo de lo establecido en la normativa nacional para los principales parámetros DBO, DQO, sólidos totales y grasas.

5.2 Recomendaciones

- Realizar pruebas con varias cepas para el cultivo de microorganismos en el tratamiento biológico antes de la puesta en marcha de la planta para determinar cuál será la más apropiada para las características que presenta el agua residual a tratar.
- Se debe tener en cuenta acondicionar el terreno donde se construirá la planta depuradora.
- Realizar pruebas de calidad del agua residual antes y después de la puesta en marcha de la planta de tratamiento y de esta manera tener un registro del funcionamiento de las unidades y de la planta en general.
- Llevar un control de todas las actividades realizadas una vez iniciada la operación de la planta, con la finalidad de crear un registro que permita evaluar el sistema de tratamiento y optimizarlo a medida que pasa el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, E. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). Guatemala. Obtenido de: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association (23 ed). American Public Health Association-American Water Works Association-Water Pollution Control Federation Ed., Washington, DC., USA.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica*. 6ta edición. Editorial Episteme. Caracas - República Bolivariana de Venezuela.
- Banqueri, D.A. (2019). *Propuesta de Manejo Ambiental para la empresa Cayelac S.A.* [Tesis de grado]. Universidad Siglo 21. Córdoba. Argentina.
- Bravo, A. (2020). *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Planta de Lácteos de la Facultad de Ingeniería* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia - CAR/PL. (2002). *Prevención de la Contaminación en la Industria Láctea*. Barcelona, España.
- Chariguamán, L. (2018). *Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales Generadas en la Planta Procesadora Lácteos Oriente del Ecuador, ubicada en la Provincia Pastaza* [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba. Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8650/1/96T00452.pdf>
- Chávez, I. (2017). *Diseño e Implementación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales*. *Dominio de las Ciencias*. Vol. 3, Núm. 1, 536–560. Obtenido de : <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index%0ACiencias>
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Mc Graw Hill. Colombia:
- Fajardo, S. (2018). *Evaluación de la Eficiencia de un Filtro para Reducir la Turbidez de Aguas Residuales Empleando Material Litológico como Medio Filtrante*. [Tesis de

- maestría]. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Fernández Cirelli, A. (2012). *El Agua: Un Recurso Esencial. Química Viva*, Vol. 11, Núm. 3, diciembre, 147-170.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ta edición, McGraw-Hill. México.
- Hernández, J. (2016). *Evaluación de la Capacidad de Adsorción e Intercambio Iónico de Suelos del Estado Mérida para la Depuración de Aniones Disueltos en Aguas Naturales*. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Abierta. Centro Local Falcon, Venezuela.
- Landi, M.E. (2018). *Evaluación Técnica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria Láctea*. [Tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador.
- Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Volumen 1 y 2. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Murillo, B. (2018). *Evaluación del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales En la Industria Alimentaria*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Organización Internacional de Normalización. (1985). *Liquid Flow Measurement in open channels: Velocityv-Area Methods - Collection and Processing of Datafor Determination of Errors in Measurement*. 2da ed., ISO 1088, Ginebra.
- Pérez, M. (2006). *Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales para Riego Mediante Oxidación con Ozono: Una Alternativa Ecológica*. Congreso Nacional de Medio Ambiente CONAMA. Madrid.
- Prato, J.G., González-Ramírez, L.C., Pérez, M.C., & Rodríguez, M.E. (2021). *Adsorción de la dureza del agua sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador*. Información Tecnológica, Vol. 32(2), 51-60. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200051>
- Prato, José G., Millán, Fernando., Ríos, Anita & González-Ramírez, Luisa C. (2022). *Uso de materiales litológicos oxidicos para la reducción de la dureza en aguas naturales*. Información Tecnológica, Vol. 33(2), 145-156.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200145>

- Puentestar, W. (2015). *La Problemática Ambiental y el Deterioro de los Recursos Naturales en el Ecuador, una Perspectiva desde la Geografía*. [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito. Ecuador.
- Quintuña, J.M. & Samaniego, M.C. (2016). *Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua potable de la planta potabilizadora del cantón Chordeleg*. [Tesis de grado]. Universidad de Cuenca. Cuenca. Ecuador.
- Restrepo, M. (2012). *Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. Producción + Limpia*, Vol. 1 No. 1, Enero - Junio, 87 - 101.
- Rodríguez, N. (2010). *Evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria Láctea* [Tesis de grado]. Instituto Politécnico Nacional. Durango. México.
- Romero, J. (2005). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. 3era edición. Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sabino, C. (2000). *Metodología de la Investigación*. Editorial Panamericana, Bogotá. Colombia.
- Salcedo, N. (2009). *Prediseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residual para los Efluentes Líquidos Provenientes de la Receptoría de Leche Cruda, en Calichito La Fría, de la Empresa Pasteurizadora Táchira, C.A.* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. Venezuela,
- Sánchez, L.T. (2020). *Reducción de la Turbidez de las Aguas del Río Chibunga Empleando Suelos Lateríticos como Medios Filtrantes*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
- Técnica Pensa C.A. (2010). *Catálogo de Productos*. Obtenido de <http://www.tpensa.com>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA (2017). Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. , Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003 § (2017).
- Valencia Denicia, E., Ramírez Castillo, M.L. (2009). *La Industria de la Leche y la Contaminación del Agua. Elementos: Ciencia y cultura*, Vol. 16, Núm. 73, enero-

marzo, 27-31.

Vallejo, M. (2014). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Quesera “El Pajonal” Quimiag 2013*. [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.

Vásconez, J.G. & Hernández, W.J. (2014). *Diseño y Construcción de una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales: Quesera “El Salinerito”, Salinas, Bolívar*. [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador. Obtenido de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Zamorán, D. (2013). *Manual de procesamiento de lácteos*. Instituto Nicaragüense de Apoyo a la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (INPYME). Obtenido de: https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/14_agriculture01.pdf

ANEXOS

Ejemplo de aplicación de método de flotador

Para la medición del caudal en la zona de producción se utilizó el método de área-velocidad o flotadores. En el cual se utilizaron los siguientes materiales para la medición.

- Una pelota de 6 cm de diámetro para que pueda ser arrastrado por la corriente del agua.
- Un cronometro
- Una cinta métrica.
- Una regla

Para poder medir el caudal en la zona de producción se seleccionó una parte del canal en donde no haya obstrucción alguna y pueda seguir su camino el objeto flotante; luego se tomaron dos puntos para la medición en el punto A y el Punto B en el canal a una distancia de 3,5 metros para la medición se realizó 7 veces repeticiones para poder sacar el promedio durante 4 veces al mes dos veces en el día y dos veces en la tarde.

Para poder tener el resultado del caudal se utiliza la siguiente ecuación que es del método del Flotador.

$$\text{Caudal}(Q) = \text{Area de la seccion} * \text{Velocidad}$$

$$\frac{m^3}{s} \text{ o } \frac{L}{s} \text{ las unidades de medición.}$$

La forma del canal es un trapecio ya que la base superior es de 21 cm y la base inferior es de 20 cm y con una altura de 15 cm.

Para ello debemos sacar el área del trapecio y la fórmula es:

$$\text{Area} = \frac{(\text{Base mayor} + \text{base menor})}{2} * \text{altura} \quad (1)$$

$$\text{Area} = \frac{(\text{Base mayor} + \text{base menor})}{2} * \text{altura}$$

$$\text{Area} = \frac{(21\text{cm} + 20\text{cm})}{2\text{cm}} * 15\text{cm} = 307,5\text{cm}$$

Para calcular la velocidad se utiliza la fórmula que es:

$$Velocidad(V) = \frac{Distancia (m)}{Tiempo (s)} \quad (2)$$

$$Velocidad(V) = \frac{Distancia (m)}{Tiempo (s)}$$

$$V = \frac{3 m}{6,91 s} = 0,434 m/s$$

Calcular el caudal de la zona de Producción:

$$Caudal(Q) = Area de la seccion * Velocidad$$

$$Caudal(Q) = 3075 m^2 * 0,434 m/s = 1,335 \frac{m^3}{s}$$

Zona de lavado o recepción de la leche

Para la medición del caudal en la zona de lavado o recepción de la leche se utilizó el método volumétrico. En el cual se utilizaron los siguientes materiales para la medición.

- Una jarra de 1 L.
- Un cronometro.

Para la medición del caudal por el método volumétrico se procedió a poner la jarra en una superficie estable, para que al momento de que el cauce del agua llegue al recipiente no se riegue.

En este proceso el cronómetro inicia en el instante en que el recipiente se introduce a la corriente y se detiene en el momento que se llena el recipiente de litro. Este proceso se lo realizó 7 veces en el mes y se alternaba una vez en el día y otra en la tarde para poder estimar un tiempo promedio.

Para poder calcular el caudal del método volumétrico se utiliza la siguiente formula:

$$Caudal(Q) = \frac{Volumen de agua capturado (L)}{tiempo de llenado (s)}$$

$$Caudal(Q) = \frac{1 L}{1,745 s} = 0,573 L/s$$

ANEXO 2: Memoria Fotográfica



Figura A1: Medición de pH



Figura A2: Medición de conductividad eléctrica



Figura A3: Medición de turbidez