



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA “PLADELACT”
UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORA: HEIDY MABELA BARRIGA MORALES

DIRECTORA: Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA, Mg.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Heidy Mabela Barriga Morales**

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

Yo, HEIDY MABELA BARRIGA MORALES, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de abril de 2022






Heidy Mabela Barriga Morales

060595578-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA “PLADELACT” UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG**, realizado por la señorita: **HEIDY MABELA BARRIGA MORALES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderón, Mg. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-04-14
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, Mg. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-04-14
Ing. César Arturo Puente Guijarro, PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-04-14

DEDICATORIA

A mis padres.

Mabela

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su apoyo y comprensión.

A mi pareja, por apoyarme y brindarme su ayuda en todo momento.

A la Ing. Mayra Zambrano y al Ing. César Puente, por su soporte incondicional.

Mabela

TABLA DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Beneficiarios directos e indirectos.....	6
1.2.1. <i>Beneficiarios directos</i>	6
1.2.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	6
1.3. Localización geográfica del proyecto.....	7
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	8
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	8

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
2.1. Industria láctea.....	9
2.1.1. <i>Productos lácteos</i>	9
2.2. Agua residual.....	9
2.3. Clasificación del agua residual láctea.....	10
2.4. Muestreo de las aguas residuales.....	10
2.5. Caracterización de aguas residuales.....	11
2.5.1. <i>Características físicas</i>	11
2.5.2. <i>Características químicas</i>	11

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	13
3.1.	Ingeniería del proyecto	13
3.1.1.	<i>Métodos</i>	13
3.1.2.	<i>Técnicas</i>	13
3.2.	Muestreo del agua residual	14
3.3.	Caracterización del agua residual	15
3.3.1.	<i>Medición de pH</i>	15
3.3.2.	<i>Medición de conductividad</i>	15
3.3.3.	<i>Determinación de turbiedad</i>	15
3.3.4.	<i>Determinación de aceites y grasas</i>	16
3.3.5.	<i>Medición de sólidos totales</i>	16
3.3.6.	<i>Determinación de fosfatos</i>	16
3.3.7.	<i>Medición de DQO</i>	17
3.3.8.	<i>Medición de DBO₅</i>	17
3.4.	Equipos y materiales para la caracterización físico-química del agua residual	17
3.5.	Caracterización inicial del agua residual de la industria láctea “PLADELACT”	19
3.6.	Índice de biodegradabilidad	20
3.7.	Pruebas de tratabilidad del agua residual	21
3.7.1.	<i>Materiales y equipos</i>	21
3.7.2.	<i>Sustancias y reactivos</i>	22
3.7.3.	<i>Procedimiento</i>	22
3.7.4.	<i>Experimentación</i>	23
3.7.4.1.	<i>Test de jarras</i>	23
3.7.4.2.	<i>Aeración</i>	28
3.7.4.3.	<i>Test de filtración</i>	30
3.8.	Propuesta de la planta de tratamiento del agua residual	31
3.9.	Dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales	32
3.9.1.	<i>Determinación del caudal de descarga de efluentes mediante el método volumétrico</i>	32
3.9.1.1.	<i>Materiales</i>	32
3.9.1.2.	<i>Método</i>	33
3.9.1.3.	<i>Medición y determinación del caudal</i>	33
3.9.2.	<i>Determinación del caudal de diseño</i>	34
3.9.3.	<i>Diseño del sistema de tuberías</i>	35

3.9.4.	<i>Diseño de la trampa de grasas y aceites</i>	36
3.9.4.1.	<i>Volumen del tanque</i>	37
3.9.4.2.	<i>Área del tanque</i>	37
3.9.4.3.	<i>Ancho del tanque</i>	38
3.9.4.4.	<i>Largo del tanque</i>	38
3.9.5.	<i>Diseño del tanque IMHOFF</i>	39
3.9.5.1.	<i>Cámara de sedimentación</i>	40
3.9.5.2.	<i>Cámara de digestión de lodos</i>	44
3.9.6.	<i>Diseño del tanque de aeración</i>	47
3.9.6.1.	<i>Volumen del tanque de aeración</i>	47
3.9.6.2.	<i>Profundidad del tanque</i>	48
3.9.6.3.	<i>Ancho del tanque</i>	48
3.9.6.4.	<i>Tiempo de retención hidráulica</i>	48
3.9.6.5.	<i>Producción de lodo activado</i>	49
3.9.6.6.	<i>Necesidad y transferencia de oxígeno</i>	51
3.9.6.7.	<i>Caudal de aire necesario tomando en cuenta la eficiencia de transferencia de oxígeno en los equipos de aeración</i>	51
3.9.7.	<i>Diseño de la cámara de coagulación y floculación</i>	53
3.9.7.1.	<i>Cálculo del volumen de aditivos químicos</i>	53
3.9.7.2.	<i>Cálculo del volumen total a tratar</i>	54
3.9.7.3.	<i>Cálculo del volumen del tanque</i>	54
3.9.7.4.	<i>Cálculo del caudal en la coagulación</i>	55
3.9.7.5.	<i>Cálculo del ancho del tanque</i>	55
3.9.7.6.	<i>Cálculo de la longitud del tanque de coagulación</i>	56
3.9.7.7.	<i>Cálculo de la altura del tanque de coagulación</i>	56
3.9.7.8.	<i>Cálculo del área total de orificios</i>	57
3.9.7.9.	<i>Cálculo del área de cada orificio</i>	57
3.9.7.10.	<i>Número de orificios</i>	57
3.9.7.11.	<i>Separación entre orificios</i>	58
3.9.7.12.	<i>Cálculo de las dimensiones de la paleta agitadora</i>	58
3.9.8.	<i>Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente</i>	63
3.9.8.1.	<i>Volumen del filtro</i>	64
3.9.8.2.	<i>Área transversal del filtro</i>	65
3.9.8.3.	<i>Diámetro del filtro</i>	65
3.9.8.4.	<i>Profundidad total de la cámara del filtro</i>	66
3.9.8.5.	<i>Material de filtrado</i>	66

3.10. Análisis de costos	67
---------------------------------------	-----------

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS	70
----------------------------	-----------

CONCLUSIONES.....	72
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	73
-----------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Ubicación geográfica de la industria láctea “PLADELACT”.....	7
Tabla 3-1:	Métodos a utilizarse en el análisis de parámetros de las aguas residuales de la industria láctea “PLADELACT”.	14
Tabla 3-2:	Cronograma de muestreo del agua residual.	15
Tabla 3-3:	Equipos y materiales para los análisis físicos del agua residual.	17
Tabla 3-4:	Equipos y materiales para los análisis químicos del agua residual.	18
Tabla 3-5:	Caracterización inicial del agua residual.	19
Tabla 3-6:	Relación entre los parámetros DQO y DBO ₅ asociada al tipo de biodegradabilidad.	20
Tabla 3-7:	Parámetros iniciales del agua residual.	23
Tabla 3-8:	Test de jarras adicionando sulfato de aluminio al 5 %.....	24
Tabla 3-9:	Test de jarras adicionando sulfato férrico al 5 %.....	24
Tabla 3-10:	Test de jarras adicionando cloruro férrico al 5 %.....	24
Tabla 3-11:	Test de jarras adicionando policloruro de aluminio al 5 %.....	25
Tabla 3-12:	Test de jarras con policloruro de aluminio al 1 %.....	26
Tabla 3-13:	Test de jarras con policloruro de aluminio al 1 % y las sustancias cal y NaOH 5 N.	26
Tabla 3-14:	Caracterización con los resultados de tratabilidad del agua residual.	27
Tabla 3-15:	Parámetros iniciales de la muestra de agua residual después del proceso de aeración.....	28
Tabla 3-16:	Test de jarras adicionando policloruro de aluminio al 1 %, cal y ácido clorhídrico 6.34 N, a la muestra previamente sometida a la primera fase de aeración.....	29
Tabla 3-17:	Mediciones de caudal de salida de aguas residuales.....	33
Tabla 3-18:	Criterios de diseño para la trampa de grasas y aceites.....	36
Tabla 3-19:	Criterios de diseño recomendadas para tanques IMHOFF.	39
Tabla 3-20:	Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos.....	47
Tabla 3-21:	Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos.....	47
Tabla 3-22:	Constantes para el cálculo de la potencia del motor en un mezclador de acuerdo con el tipo de impulsor.....	61
Tabla 3-23:	Criterios de diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).	64
Tabla 3-24:	Análisis de costos de las diferentes etapas de la planta de tratamiento.....	67
Tabla 3-25:	Costo total de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	69
Tabla 4-1:	Caracterización final del agua residual de la industria láctea PLADELACT.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Localización geográfica en el mapa de la industria láctea “PLADELACT”.	7
Figura 3-1.	Test de jarras.....	23
Figura 3-2.	Prueba de aeración.	28
Figura 3-3.	Prueba de filtración.	30
Figura 3-4.	Agua residual con cloro.	30
Figura 3-5.	Trampa de grasas y aceites.....	36
Figura 3-6.	Tanque IMHOFF.	39
Figura 3-7.	Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1. Propuesta de la planta de tratamiento del agua residual.	31
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIONES INICIAL Y FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA “PLADELACT”

ANEXO B: EXPERIMENTACIÓN

ANEXO C: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA “PLADELACT”

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de integración curricular consistió en diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la industria Planta de Lácteos (PLADELACT) ubicada en la comunidad de Utuñag, cantón Penipe, en concordancia con la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente (TULSMA), ANEXO 1, TABLA 8. Para ello, se partió de la caracterización físico-química y microbiológica inicial de los efluentes generados por dicha industria, con la finalidad de conocer los valores de turbiedad (825 NTU), pH (4.78), cloruros (1180 mg/l), aceites y grasas (102.0 mg/l), DQO (13450 mg/l), DBO5 (9120 mg/l), sólidos totales (18250 mg/l), etc. Estos resultados mostraron valores de los parámetros fuera de los límites permisibles en la referida norma, dando lugar al desarrollo de pruebas de tratabilidad de las aguas residuales utilizando el test de jarras y técnicas de aeración y filtración, con el objetivo de disminuir la cantidad de contaminantes. De esta manera, se realizaron los cálculos de ingeniería para el diseño y dimensionamiento de una planta de tratamiento que consta de una trampa de aceites y grasas, un tanque Imhoff para sedimentación, una primera etapa de aeración, una etapa de coagulación y floculación, una segunda etapa de aeración, y finalmente una etapa de filtración. Luego de tratar las aguas residuales con esta planta, se llevó a cabo la caracterización final de las aguas resultantes, obteniéndose valores de los parámetros dentro de la norma, así: turbiedad (2.8 NTU), pH (7.38), cloruros (780 mg/l), aceites y grasas (10.4 mg/l), DQO (492 mg/l), DBO5 (187 mg/l), sólidos totales (980 mg/l), etc. Consecuentemente, estos resultados validaron el diseño propuesto. Se recomienda que la empresa cuente con un procedimiento de sedimentación cerrado y aislado de contaminantes.

Palabras clave: <PLANTA DE TRATAMIENTO>, <AGUAS RESIDUALES>, <EFLUENTES INDUSTRIALES>, <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>, <INDUSTRIA LÁCTEA>.

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION-
ECIBCE, j=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2022.04.20 09:21:14 -05'00'




0730-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The objective of this curricular integration work consisted of designing a wastewater treatment plant for the Dairy Plant (PLADELACT) industry located in the community of Utuñag, Penipe canton, in accordance with the general regulations for the discharge of effluents into the public sewage system, in Book VI of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation of the Ministry of the Environment (TULSMA), ANNEX 1, TABLE 8. For this purpose, the initial physical-chemical and microbiological characterization of the effluents generated by this industry was a starting point, in order to determine the values of turbidity (825 NTU), pH (4.78), chlorides (1180 mg/l), oils and greases (102.0 mg/l), COD (13450 mg/l), BOD5 (9120 mg/l), total solids (18250 mg/l), etc. These results showed values of the parameters outside the permissible limits in the aforementioned standard, leading to the development of wastewater treatability tests using the jar test and aeration and filtration techniques, with the aim of reducing the amount of pollutants. In this way, engineering calculations were made for the design and sizing of a treatment plant consisting of an oil and grease trap, an Imhoff tank for sedimentation, a first aeration stage, a coagulation and flocculation stage, a second aeration stage, and finally a filtration stage. After treating the wastewater with this plant, the final characterization of the resulting water was carried out, yielding values of the parameters within the standard, as follows: turbidity (2.8 NTU), pH (7.38), chlorides (780 mg/l), oils and fats (10.4 mg/l), COD (492 mg/l), BOD5 (187 mg/l), total solids (980 mg/l), etc. Consequently, these results validated the proposed design. The company is recommended to have a closed, pollutant-isolated sedimentation procedure.

Keywords: <TREATMENT PLANT>, <WASTEWATER>, <INDUSTRIAL WASTEWATER>, <ENVIRONMENTAL POLLUTION>, <DAIRY INDUSTRY>.

ANA GABRIELA
REINOSO
ESPINOSA



Firmado digitalmente
por ANA GABRIELA
REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.04.20
14:54:42 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Con el rápido crecimiento de las industrias y la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente asociadas con los procesos de producción, en los últimos años se ha prestado especial atención a los residuos industriales que suelen ser vertidos en tierra o en diferentes cuerpos de agua (Chhonkar, et al., 2000, p. 350). De todas las actividades industriales, el sector alimentario tiene uno de los mayores consumos de agua y es uno de los mayores productores de efluentes por unidad de producción (Ramjeawon, 2000, p. 1). Por ejemplo, en la industria láctea se generan importantes volúmenes de efluentes, aproximadamente entre 6 y 10 litros de aguas residuales por litro de leche procesada (Kolhe & Pawar, 2011, p. 29). Estas aguas se caracterizan por tener altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes (Farizoglu & Uzuner, 2011, pp. 46-47), así como detergentes y desinfectantes utilizados en la limpieza de la planta industrial (Kolhe, et al., 2009, p. 461), resultando en aguas con alta carga contaminante. Por tanto, su descarga a la red de alcantarillado público, sin tratamiento previo, causa graves problemas ambientales (Ganapathy, et al., 2011, p. 154).

En Ecuador, la industria láctea es de vital importancia (Terán Flores, 2019, p. 7). El país ha promulgado leyes y enmiendas para tratar los efluentes generados por las industrias y mantener la salubridad de los recursos hídricos naturales. La provincia de Chimborazo, perteneciente a la región Sierra o interandina del Ecuador, se destaca por ser una provincia ganadera, ostentando como la quinta provincia de mayor producción lechera a nivel nacional. Su producción de leche cruda en finca es del 7.1 % del total de producción nacional (Zambrano, et al., 2017, p. 283). Una de las industrias lácteas de la provincia es la industria Planta de Lácteos (PLADELACT) ubicada en la comunidad de Utuñag, cantón Penipe, que se dedica principalmente a la elaboración de quesos. Esta industria genera alrededor de 1000 litros diarios de aguas residuales inherentes a los procesos de producción; sin embargo, estas aguas no son tratadas y son descargadas de forma directa a la red de alcantarillado público de la zona. En este sentido, en el presente trabajo de integración curricular realizamos el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para esta industria, con la finalidad de eliminar parcialmente los desechos generados en cumplimiento con la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente (TULSMA), ANEXO 1, TABLA 8.

Así, los contenidos están organizados de la siguiente manera. En el Capítulo 1, abordamos la problemática del presente trabajo, haciendo hincapié en los antecedentes, los beneficiarios y los objetivos planteados. En el Capítulo 2, presentamos los fundamentos teóricos sobre la industria láctea, las aguas residuales y su caracterización. En el Capítulo 3, establecemos el marco metodológico seguido para el diseño de la planta de tratamiento, dando a conocer principalmente la caracterización físico-química y microbiológica inicial de las aguas residuales, las pruebas de tratabilidad y los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de dicha planta. En el Capítulo

4, mostramos y analizamos los resultados obtenidos en la caracterización final de las aguas residuales. Y, al término del trabajo, introducimos varias conclusiones y establecemos algunas recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El rápido crecimiento de las industrias no solo ha mejorado la productividad, sino que también ha provocado la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente, lo que genera peligros para la salud. Además, esto ha afectado gravemente el funcionamiento normal de los ecosistemas, la flora y la fauna. En los últimos años se ha prestado una atención considerable a los residuos industriales que suelen ser vertidos en tierra o en diferentes cuerpos de agua. Es probable que esto provoque la degradación del medio ambiente (Chhonkar, et al., 2000, p. 350).

Se han estudiado diversas técnicas fisicoquímicas por su aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales que incluyen principalmente sedimentación, cribado, aeración, filtración, flotación, desgasificación, cloración, ozonización, neutralización, coagulación, sorción, intercambio iónico, etc. (Rodrigues, et al., 2008, pp. 605-606). Varias limitaciones de los métodos fisicoquímicos, incluido el tratamiento parcial, mayor costo, generación de contaminantes secundarios, mayor cantidad de sólidos y el uso de agentes químicos, hacen de los métodos biológicos una alternativa favorable para la remoción de contaminantes.

Los materiales de desecho asociados con la industria alimentaria, incluyendo los desechos generados por la industria láctea, como lodos, materia orgánica pesada, grasas, aceites y lubricantes, ácidos grasos y compuestos nitrogenados, son considerables (Healy, et al., 1995, p. 302). De todas las actividades industriales, el sector alimentario tiene uno de los mayores consumos de agua y es uno de los mayores productores de efluentes por unidad de producción; además, genera un gran volumen de lodos en tratamientos biológicos (Ramjeawon, 2000, p. 35). En los sistemas aeróbicos, la producción de lodo es de aproximadamente 0.5 kg por kg de demanda química de oxígeno (DQO) eliminada y en los sistemas anaeróbicos de aproximadamente 0.1 kg por kg de DQO eliminada (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1996, p. 1).

Debido a la alta carga contaminante de las aguas residuales de los productos lácteos, las industrias de procesamiento de leche que descargan aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas, causan graves problemas ambientales (Ganapathy, et al., 2011, p. 154). Los nutrientes presentes en los efluentes lácteos como el nitrógeno y otros conducen a la eutrofización de las aguas receptoras (Kushwaha, et al., 2011, p. 446). Las aguas residuales de los productos lácteos merecen una atención especial ya que sus niveles de contaminantes potenciales suelen superar los niveles considerados peligrosos para las aguas residuales domésticas (Meul, et al., 2009, pp. 284-285). Se han realizado numerosos intentos para resolver este problema mediante el proceso de lodos activados en el que las aguas residuales que contienen materia orgánica se airean con microorganismos para

metabolizar la materia orgánica en suspensión y soluble. Los nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo de las aguas residuales, podrían reutilizarse para el equilibrio de nutrientes en dichos procesos de tratamiento. La industria láctea se encuentra en todo el mundo, pero sus procesos de fabricación varían enormemente (Verheijen, et al., 1996, p. 1). Este sector genera un gran volumen de aguas residuales y su contaminación es principalmente orgánica (Brião & Granhen Tavares, 2007, p. 487) (Kushwaha, et al., 2011, pp. 442-444).

El agua es una de las principales utilidades de la industria láctea, lo que genera importantes volúmenes de efluentes; de ahí que no se pueda ignorar el desafío de su eliminación. La industria láctea genera en promedio entre 6 y 10 litros de aguas residuales por litro de leche procesada (Kolhe & Pawar, 2011, p. 29). Se estima que alrededor del 2% de la leche total procesada se desperdicia en los desagües, lo que resulta en aguas residuales con 800 mg/l a 1400 mg/l de DQO y 360 mg/l a 700 mg/l de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Munavalli & Saler, 2009, p. 713). Las aguas residuales crudas de productos lácteos se caracterizan por altas concentraciones y fluctuaciones de materia orgánica y cargas de nutrientes (Farizoglu & Uzuner, 2011, pp. 46-47). Estas aguas contienen grandes cantidades de componentes de la leche como caseína, lactosa, sal inorgánica, además de detergentes y desinfectantes utilizados para el lavado (Kolhe, et al., 2009, p. 461). El reciclaje de nutrientes a través de la aplicación al suelo de efluentes de desechos lácteos requiere el uso de cultivos capaces de utilizar estos nutrientes (Macon, et al., 2002, p. 1043). Los efluentes industriales ricos en materia orgánica y nutrientes vegetales han encontrado un uso agrícola como forma más barata de eliminación (Nagda, et al., 2006, p. 1598). Los efluentes lácteos contienen azúcares y proteínas disueltos, grasas y residuos de aditivos que son los principales contribuyentes a la carga orgánica de estas aguas residuales (Perle, et al., 1995, pp. 1549-1550). Debido a la presencia de una alta carga orgánica, los efluentes lácteos se descomponen rápidamente y agotan inmediatamente el nivel de oxígeno disuelto (OD) de las corrientes receptoras, lo que resulta en la liberación de un fuerte olor fétido. El agua receptora se convierte en criadero de moscas y mosquitos portadores de malaria y otras enfermedades peligrosas como el dengue, la fiebre amarilla y la chikungunya (Kumar, et al., 2011, p. 146). Los ácidos grasos volátiles (AGV) se encuentran entre los compuestos orgánicos volátiles más abundantes en el estiércol de leche y están asociados con molestias por olores (Page, et al., 2014, p. 16). Además, la leche cruda contiene nitrógeno amoniacal, lo que causa la presencia de 50 mg/l de nitrógeno en la corriente de aguas residuales (Soederhjelm & Lindqvist, 1980, p. 541). La aparición de nitrógeno en los efluentes lácteos es un problema importante porque, una vez convertido en nitratos, puede contaminar las aguas subterráneas poco profundas (Ulery, et al., 2004, p. 117).

Como puede observarse, la gestión del agua en la industria láctea está bien documentada, pero la producción y eliminación de efluentes sigue siendo un tema problemático. Para permitir que la industria láctea contribuya a la conservación del agua, se debe desarrollar una tecnología de tratamiento eficiente y rentable.

En Ecuador, la industria láctea es de vital importancia (Terán Flores, 2019, p. 7). El país ha promulgado leyes y enmiendas para tratar los efluentes generados por las industrias y mantener la salubridad de los recursos hídricos naturales. La producción de leche se ha desarrollado significativamente en las últimas décadas (Zambrano, et al., 2017, pp. 280-281) (Terán Flores, 2019, p. 6). El sector lácteo tiene un gran potencial para influir en el mercado mundial de productos lácteos a largo plazo si se introducen avances tecnológicos junto con cambios estructurales.

La región Sierra o interandina del Ecuador, que se extiende de norte a sur por los Andes, es reconocida por su magnífica producción agropecuaria. Está conformada por 11 provincias y posee páramos, montes, bosques y pastos naturales. La provincia de Chimborazo, perteneciente a esta región y a la zona de planificación nro. 3, se destaca por ser una provincia ganadera, ostentando como la quinta provincia de mayor producción lechera a nivel nacional, después de Pichincha, Cotopaxi, Azuay y Manabí. Asimismo, cuenta con la mayor superficie en páramos, con alrededor de 160 mil hectáreas, según el Censo Nacional Agropecuario 2000 (MCPEC, 2011, p. 21). Su producción de leche cruda en finca registra una media de 360 mil litros diarios y una tasa anual de crecimiento del 4 %, lo cual representa el 7.1 % del total de producción nacional (Zambrano, et al., 2017, p. 283). Posee una gran cantidad de industrias lácteas que generan ingresos económicos al sector ganadero de sus comunidades rurales.

“PLADELACT” es una industria láctea ubicada en la comunidad de Utuña, cantón Penipe, provincia de Chimborazo. Su materia prima proviene de los ganaderos o haciendas de la zona. Se conoce que 500 litros de leche ingresan diariamente para la elaboración de productos lácteos y su producción es comercializada en diferentes provincias y cantones del Ecuador, según se indica: 80% en Santa Elena, 15% en Riobamba, 3% en Penipe y 2% en Guayaquil. Esta industria láctea se dedica a la producción de quesos, donde el agua es utilizada en grandes volúmenes. Por lo general, por cada litro de leche procesada son utilizados 1.5 litros de agua, fuera del agua utilizada para el lavado de las instalaciones y equipos. Sin embargo, en el proceso de producción se generan grandes cantidades de residuos líquidos, mayormente suero de leche, salmuera, trazas de crema, grasas, aceites y sólidos suspendidos. La descarga de estos efluentes se realiza al medio ambiente sin tratamiento previo, lo cual se convierte en un impacto contaminante. Además, el agua utilizada en el lavado de materiales y equipos de la planta industrial contiene residuos desengrasantes de máxima limpieza y químicos utilizados para remover los restos de leche y productos lácteos.

Debido a la carencia de plantas de tratamiento de aguas residuales en las industrias, incluidas las industrias lácteas, estas aguas son vertidas directamente en las juntas receptoras (ríos o quebradas) y en el alcantarillado sanitario, lo cual causa la disminución de la calidad de los cuerpos de agua y destruye la infraestructura del alcantarillado; lo que, en ambos casos, causa un impacto negativo a los recursos ambientales (Rodríguez, 2017, p. 1).

En este sentido, el presente proyecto está destinado al tratamiento de las aguas residuales generadas por la industria láctea “PLADELACT”, debido a que existe una descarga directa y

elevada de componentes nocivos al sistema de alcantarillado público. Por tanto, se considera realizar un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de eliminar parcialmente los desechos generados en la planta industrial, y con ello, contribuir con la remediación del medio ambiente.

Al disminuir la cantidad de contaminantes de las aguas residuales, el agua tratada podría ser reutilizada en otros procesos o actividades de la industria, por ejemplo, la limpieza o enfriamiento de las ollas de la planta industrial; e inclusive, ser utilizada en los cultivos del sector agrícola de la localidad. Para el efecto, dicha agua tratada deberá cumplir con los parámetros establecidos en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente (TULSMA).

1.2. Beneficiarios directos e indirectos

Mediante la implantación del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales que se propone en el presente trabajo de integración curricular, sus beneficiarios serán:

1.2.1. Beneficiarios directos

El beneficiario directo será la empresa cuyo representante legal es el Ing. José Oñate propietario de la planta láctea “PLADELACT” ya que, con la implementación del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, a la empresa se le evitará las multas por parte del organismo de control es decir del Ministerio del Ambiente.

1.2.2. Beneficiarios indirectos

Los moradores de la población de la comunidad de Utuñag, debido a que, con la implementación del diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales se evitará la expulsión de malos olores.

1.3. Localización geográfica del proyecto

El presente proyecto técnico será realizado en la planta láctea “PLADELACT” la cual se encuentra ubicada en la comunidad de Utuñag, perteneciente al cantón Penipe, provincia de Chimborazo.

Los parámetros y descripción de la ubicación geográfica de la industria láctea “PLADELACT” se muestran en la Tabla 1-1. Adicionalmente, la localización geográfica en el mapa se indica en la Figura 1-1.

Tabla 1-1: Ubicación geográfica de la industria láctea “PLADELACT”.

Parámetro	Descripción
Límites del cantón Penipe	Al Norte, Provincia de Tungurahua Al sur, Cantón Riobamba Al este, Provincia de Morona Santiago Al oeste, Cantón Guano
Rango altitudinal	Entre 2500 y 5424 m.s.n.m.
Longitud	1°32'59.2" Sur
Altitud	78°29'29.0" Oeste
Clima	Variado
Temperatura media	13 °C mín. - 15 °C máx.

Fuente: (Plan de Desarrollo Territorial del Cantón Penipe, 2012, p. 35).



Figura 1-1. Localización geográfica en el mapa de la industria láctea “PLADELACT”.

Realizado por: Barriga Morales, Heidi, 2021.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la industria láctea “PLADELACT” ubicada en la comunidad de Utuñag.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física, química y microbiológica del agua residual que se genera; bajo la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8.
- Efectuar pruebas piloto de tratabilidad, para determinar el tratamiento adecuado.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de la planta de tratamiento.
- Validar técnicamente el diseño propuesto para el sistema de tratamiento de aguas residuales, bajo la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 8.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Industria láctea

Se considera industria láctea a aquellas fabricas que pertenecen al sector alimenticio y su materia prima principal es la leche de origen animal, en especial, la que es producida por la vaca. La industria láctea genera un promedio de 6 a 10 litros de aguas residuales por litro de leche procesada (Porwal, et al., 2015, p. 3). Estas aguas residuales contienen desechos tóxicos que, entre otros, son los siguientes: materia orgánica pesada, aceites, grasas, ácidos grasos y compuestos nitrogenados (Kolhe & Pawar, 2011, p. 29).

2.1.1. Productos lácteos

A los productos lácteos se los considera indispensables en la alimentación diaria que requiere el ser humano, como ciertos alimentos: queso, yogurt, crema, entre otros; referente a su elaboración debe efectuarse bajo estrictas normas de higiene y salubridad para asegurarse que sea un producto de buena calidad (Meyer, 2007, p. 11).

2.2. Agua residual

El agua residual es aquella agua que es depositada a un sistema de alcantarillado sin recibir un tratamiento previo, una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde la perspectiva de las fuentes de generación, podemos definir al agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o más conocidas como “aguas portadoras” de residuos, ya que son procedentes de los siguientes lugares: residencias, instituciones públicas y privadas, y establecimientos industriales y comerciales (METCALF & EDDY, INC., 1995, p. 1).

Según su procedencia, las aguas residuales se clasifican en cuatro tipos:

- Aguas residuales domésticas. Se consideran aguas residuales domésticas a las que el ser humano utiliza en su vida cotidiana, como lo es en la higiene y alimentación. Estas aguas cuentan con un alto índice de contenido de microorganismos patógenos. Para medir dicho contenido se lo realiza mediante los siguientes tres tipos de indicadores: coliformes, estreptococos fecales y clostridium sulfitoreductores (METCALF & EDDY, INC., 1995, p. 19).
- Aguas residuales industriales. Son aquellas aguas generadas de los diferentes procesos industriales, ya que cada una de estas aguas tienen características distintas dependiendo del tipo o tamaño de la industria que lo genere. El agua que es producida es directamente

desembocada a un sistema de alcantarillado público, donde debe tener un tratamiento previo bajo la responsabilidad de la industria o empresa (Romero Rojas, 2010, p. 17).

- Aguas residuales de infiltración. Las aguas de infiltración son todas aquellas que resaltan la resistencia del material que transporta dichas aguas, ya que su término lo indica son aguas que se infiltran a través de la tubería y conexiones de la red del sistema de alcantarillado (METCALF & EDDY, INC., 1995, pp. 18,33)
- Aguas residuales pluviales. Se denomina aguas residuales pluviales aquellas que son procedentes de las lluvias, por el choque de carga que se produce en las nubes (Romero Rojas, 2010, p. 18).

2.3. Clasificación del agua residual láctea

Debido a los diferentes procesos que se realizan en la industria láctea, el efluente generado se clasifica de la siguiente manera:

- Agua de proceso. Hace referencia al agua que interfiere en el proceso de fabricación, donde entra en contacto directo con el producto a adquirir.
- Agua de limpieza de equipos e instalaciones. La limpieza es de carácter obligatorio, ya que de esta manera se garantiza la calidad del producto final, siendo indispensable para la industria de alimentos.
- Agua de servicios. Es la necesaria para el funcionamiento de equipos de refrigeración, purgas de calderas, etc.

2.4. Muestreo de las aguas residuales

Existen dos tipos de muestras que pueden tomarse y son las siguientes:

- Muestra simple. Nos facilita las características del agua residual en el momento que la muestra es tomada. Se usa generalmente cuando: el caudal de agua residual y su composición es relativamente constante; el flujo de agua residual es intermitente, y cuando las muestras compuestas pueden ocultar condiciones amplías de las aguas residuales (pH y temperatura). El volumen mínimo de una muestra simple debe estar entre 1 y 2 litros (Ramalho, 1983, p. 78).
- Muestras compuestas. Es una muestra compuesta que se logra con la colección de aguas residuales en forma continua durante un intervalo de tiempo dado, o es la composición de varias muestras instantáneas tomadas a cada cierto tiempo. Esta muestra simboliza el promedio de las características a medir durante el tiempo que dure su colección (Valdez & Vazquez, 2003, p. 90).

2.5. Caracterización de aguas residuales

La producción de aguas residuales es el resultado de la actividad humana. El tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales admite el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su concepto y de sus efectos principales sobre la fuente receptora. La finalidad de este subcapítulo es proveer los conocimientos fundamentales para la caracterización de un agua residual (Romero Rojas, 2010, p. 17).

2.5.1. Características físicas

Las principales características físicas de las aguas residuales son:

- Sólidos totales. A los sólidos totales se los considera como la materia que se obtiene como residuo luego de haber expuesto al agua a un proceso de evaporación entre los 103 y 105 °C. Los sólidos totales, o también conocidos como residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o sólidos de suspensión, dado que se puede hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro (METCALF & EDDY, INC., 1995, pp. 59-60).
- Turbiedad. La turbiedad nos facilita medir la calidad de transparencia que tiene el agua residual, ya que cuando más sólidos en suspensión se muestra por consecuencia mayor será su suciedad, y por ende la turbiedad será de mayor grado (Crites, 2000, pp. 42).
- Temperatura. La temperatura del agua residual por efecto suele ser siempre más elevada a comparación del agua de suministro, ya que principalmente es debido a la incorporación de agua caliente, las cuales son procedentes de las casas y de los diferentes usos industriales (METCALF & EDDY, INC., 1995, p. 70).
- Color. Este término hace referencia a la edad del agua residual, dado que se puede determinar cualitativamente. El color de las aguas residuales cambia paulatinamente de gris a gris oscuro, ya que finalmente adquieren un color negro (METCALF & EDDY, INC., 1995, p. 72).
- Olor. Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor agresivo. Además del ácido sulfhídrico, existen otros compuestos que provocan olores ofensivos y son los siguientes: aminas, amoníaco, diaminas, sulfuros orgánicos y escatol (Romero Rojas, 2010, pp. 63,64).

2.5.2. Características químicas

Las primordiales características químicas de las aguas residuales son:

- Materia Orgánica. La materia orgánica de las aguas residuales es una composición de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno principalmente está constituida de la siguiente manera: 40-60 % de proteínas, 25-50 % de carbohidratos, y 10 % de grasas y aceites. Los sólidos

suspendidos de un agua residual pueden contener un 75 % de materia orgánica y los sólidos disueltos un 40 %. (Romero Rojas, 2010, p. 60).

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Se considera que la demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno necesario por una corriente residual. La muestra tiene una duración de 5 días para que pueda ser determinada en ausencia de luz, también es utilizada como vital indicador de calidad de las aguas residuales, y se debe efectuar las condiciones adecuadas para tener resultados confiables (Russell, 2012, p. 26).
- Demanda química de oxígeno (DQO). Es utilizada para medir la cantidad de materia orgánica que contiene un agua residual. El oxígeno es de vital importancia para oxidar químicamente todo el material orgánico de un efluente, para lo cual se usa una solución de dicromato en medio ácido, la muestra se puede establecer en 2 horas y media a comparación de la prueba de DBO_5 que dura 5 días (Crites, 2000, p. 67).
- Fosfatos. Los fosfatos se encuentran acumulados en el agua residual, estos se pueden llevar a procesos de eutrofización, pueden provenir de las heces de animales y humanos, o a su vez de detergentes y productos de limpieza, que se encuentran de forma disuelta, coloidal o sólida (Putz, 2000, pp. 1-2).
- Potencial hidrógeno. Es la medida de concentración del ion hidrogeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de este ion. Las aguas residuales en concentración adversa del ion son complicadas de tratar biológicamente, ya que alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son ineludibles para los microorganismos (Romero Rojas, 2010, p. 66).
- Aceites y grasas. Para realizar el análisis de aceites y grasas se requiere tener un pH ácido, esta muestra tendrá que ser acidificada a un pH de 2 adicionando unas gotas de ácido sulfúrico (Bermeo, 2016, p. 38).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ingeniería del proyecto

3.1.1. Métodos

El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales conlleva una serie de fases para obtener agua tratada con los parámetros físico-químicos y microbiológicos dentro de los límites permisibles establecidos en la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8. Referente al diseño, se utilizarán diferentes métodos de tratabilidad que son: inductivo, deductivo y experimental, de donde se obtendrán diferentes variables que permitirán su dimensionamiento.

- **Método Inductivo.** En el presente trabajo de integración curricular existe una descarga directa de efluentes al sistema de alcantarillado público. Para la aplicación de este método se debe realizar la medición del caudal y análisis de muestras, ya que en lo posterior se tiene que partir de lo particular hacia lo general, tomando en cuenta ciertos factores como: observación, registro y clasificación de hechos, con el propósito de tener una muestra promedio donde se llevará a cabo los correspondientes análisis físicos-químicos en un laboratorio.
- **Método Deductivo.** Este método permitirá dar solución a los problemas que se generan por los parámetros que se encuentran fuera de la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8, en base a los resultados de los análisis de las aguas residuales de la industria láctea “PLADELACT”.
- **Método Experimental.** En la parte práctica del trabajo de integración curricular, se hace referencia a la recopilación de datos experimentales mediante el uso de instrumentos y equipos de laboratorio, donde se pueda implementar una simulación del diseño de ingeniería más adecuado para la industria láctea “PLADELACT”, cumpliendo con los parámetros establecidos en la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8.

3.1.2. Técnicas

Las técnicas utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales de la planta láctea “PLADELACT” están basadas en la norma general de caracterización físico-química y microbiológica para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8. Esta norma está fundamentada en los métodos estandarizados

para el análisis de aguas potables y residuales, tales como: APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDITION y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDITION. Los métodos citados se muestran en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Métodos a utilizarse en el análisis de parámetros de las aguas residuales de la industria láctea “PLADELACT”.

Parámetros	Método
Potencial de hidrogeno	STANDARD METHODS *4500 HB
Color aparente	STANDARD METHODS 2120-B
Conductividad	PE-LSA-02
Turbiedad	STANDARD METHODS 2130-B
Alcalinidad	STANDARD METHODS 2320-B
Cloruros	STANDARD METHODS 3500-CI E
Aceites y grasas	EPA 418,5
Detergentes	STANDARD METHODS 5540-C
Fosforo total	STANDARD METHODS 4500-P-E mod
Sólidos totales	STANDARD METHODS *2540 B
DQO	STANDARD METHODS 5220-D
DBO ₅	STANDARD METHODS 5210-B
Nitrógeno total	STANDARD METHODS 4500-N-B
Coliformes totales	STANDARD METHODS 9221 – C
Coliformes fecales	STANDARD METHODS 9221 – B

Fuente: (Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2021).

3.2. Muestreo del agua residual

El muestreo de las aguas residuales consiste en una acción que se realiza con el propósito de identificar la composición de dichas aguas. Es preciso que la muestra tomada sea representativa para que no exista error en su caracterización, conseguir resultados reales y optimizar los recursos económicos, ya que el costo de los análisis en el laboratorio es elevado. Para la recolección de las muestras se siguieron los siguientes pasos:

- Seleccionar el punto de monitoreo.
- Esterilizar los frascos para la toma de muestras.
- Tomar la muestra con cuidado, evitando la contaminación por otros agentes que no tienen relación con el agua residual.
- Etiquetar los frascos con letra legible y con bolígrafo imborrable.
- Colocar las muestras dentro de la nevera o enfriador (cooler).
- Realizar los análisis respectivos en el laboratorio.

Para llevar a cabo el muestreo de las aguas residuales en la industria láctea “PLADELACT”, se estableció un cronograma que se resume en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Cronograma de muestreo del agua residual.

Fechas	Volumen (l)	Finalidad
09/12/2020	3.00	Caracterización inicial
21/01/2021	20.00	Tratamiento
01/02/2021	18.94	Tratamiento

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

3.3. Caracterización del agua residual

Una vez ejecutado el muestreo, las aguas residuales fueron trasladadas al laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, para realizar los correspondientes análisis de la caracterización inicial del agua residual.

3.3.1. Medición de pH

- Calibrar el equipo.
- Lavar el electrodo del pH-metro con agua destilada.
- Introducir el electrodo en un vaso de precipitación que contiene la muestra y presionar READ.
- Dejar estabilizar la lectura y anotar el valor de pH que se registra en la pantalla.
- Enjuagar los electrodos con agua destilada.

3.3.2. Medición de conductividad

- Calibrar el equipo.
- Lavar el electrodo del pH-metro con agua destilada.
- Introducir el electrodo en un vaso de precipitación que contiene la muestra y presionar READ.
- Dejar estabilizar la lectura y anotar el valor de conductividad que se registra en la pantalla.
- Enjuagar los electrodos con agua destilada.

3.3.3. Determinación de turbiedad

- Encender el turbidímetro
- Tomar con cuidado el frasco para la muestra y enjuagar con agua destilada.
- Colocar la muestra de agua residual en el frasco hasta donde señala la marca y tapar.
- Limpiar el exterior del frasco y colocar en la celda del turbidímetro.

- Anotar el valor que indica en la pantalla.

3.3.4. Determinación de aceites y grasas

- Acidificar 1 litro de la muestra a $\text{pH} = 2$ con 5 ml de ácido clorhídrico.
- Transferir la muestra a un embudo de separación y añadir 30 ml de disolvente de extracción.
- Agitar durante 2 minutos. Dejar que las capas se separen y eliminar el disolvente de la parte inferior de la muestra.
- Filtrar el extracto en un matraz aforado de 100 ml que contiene papel filtro humedecido en disolvente y 1 g de sulfato de sodio.
- Tomar 5 ml del extracto con una jeringa y poner en una cubeta de cuarzo incorporada al espectrofotómetro de infrarrojo o analizador.
- Seleccionar el programa para grasas y aceites.
- Presionar READ.
- Leer los datos que aparecen en la pantalla y registrar.

3.3.5. Medición de sólidos totales

- Colocar la caja Petri en la estufa durante 1 hora.
- Terminado el tiempo, llevar al desecador y dejar 1 hora.
- Pesar y registrar el “peso 1”.
- Homogenizar la muestra y añadir 25 ml en la caja.
- Situar la caja en el equipo para secado a baño maría.
- Retirar del equipo una vez que se haya secado totalmente.
- Llevar nuevamente a la estufa y dejar 1 hora.
- Colocar después en el desecador durante otra hora más.
- Finalizado el tiempo, pesar y registrar el “peso 2”.
- Realizar los cálculos correspondientes con ambos pesos y obtener el resultado.

3.3.6. Determinación de fosfatos

- Seleccionar el programa 79 PO_4 en el equipo y pulsar ENTER.
- Verter 10 ml de muestra en una cubeta, añadir un sobre del reactivo PhosVer 3, y agitar aproximadamente 30 segundos.
- Pulsar SHIF TIMER para programar el temporizador a 2 min, como período de reacción de la sustancia.
- Verter 10 ml de agua destilada en otra cubeta (blanco).

- Limpiar las cubetas con un paño para eliminar cualquier interferencia que pueda afectar la medición o lectura.
- Finalizado el tiempo colocar el blanco en el equipo, pulsar ZERO para encerrar.
- Después colocar la cubeta con la muestra y pulsar READ.
- Anotar los resultados.

3.3.7. Medición de DQO

- Agitar el vial de la solución patrón y ubicar en la gradilla.
- Tomar 2 ml de muestra para verter en el vial.
- Tapar y homogenizar el contenido.
- Encender el termorreactor a la temperatura de 148 ± 2 °C y colocar el vial durante 2 horas.
- Terminada la reacción en el tiempo indicado, dejar enfriar.
- Limpiar las paredes externas del vial con agua destilada y secar con un paño seco y limpio.
- Seleccionar el método en el espectrofotómetro y calibrar con la solución patrón.
- Colocar el vial con la muestra y medir.
- Leer los resultados y anotar.

3.3.8. Medición de DBO₅

- Colocar 150 ml de la dilución en la botella winkler y añadir una ampolla de nutrientes e introducir el agitador magnético.
- En el tapón colocar una escama de hidróxido de potasio y sellar la botella con el mismo.
- Enroscar el cabezal de medición y encender.
- Colocar la botella en la incubadora de aire y esperar un período de 5 días.
- Transcurrido el tiempo indicado tomar la lectura de los datos obtenidos en el cabezal de medición y anotar.

3.4. Equipos y materiales para la caracterización físico-química del agua residual

Los equipos y materiales a utilizarse para la caracterización físico-química del agua residual, se muestran en la Tabla 3-3 y Tabla 3-4.

Tabla 3-3: Equipos y materiales para los análisis físicos del agua residual.

Parámetros	Materiales	Equipos
Potencial de hidrogeno	Vasos de precipitación	pH-metro
Conductividad	Celda para turbidímetro	Turbidímetro

Solidos totales	Caja Petri	Balanza analítica
Temperatura	Desecador	Conductímetro
Turbiedad	Pinza	Destilador
	Buchner y Kitasato	Estufa
	Buretas	Fotómetro
	Soporte universal	Turbidímetro
	Mandil	Equipo para baño maría
	Pipeta	Cronómetro
	Guantes	Cámara fotográfica
		Termómetro

Fuente: (Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2021).

Tabla 3-4: Equipos y materiales para los análisis químicos del agua residual.

Parámetros	Materiales	Equipos
DQO	Desecador	Balanza analítica
DBO ₅	Botellones plásticos	Espectrofotómetro
Cloruros	Bureta	Termorreactor
Fosforo total	Filtro de fibra de vidrio	Estufa
Detergentes	Matraz Erlenmeyer	Hach DQO
Nitrógeno total	Papel filtro	Fotómetro
Aceites y grasas	Parafilm	Termómetro
Alcalinidad	Pera de succión	
	Pinza	
	Pipeta	
	Pipeta volumétrica	
	Pipeta milimetrada	
	Tubos de ensayos	
	Tubos de incubación	
	Tubos de digestión con su respectiva tapa	
	Varilla	
	Vasos de precipitación	
	Guantes	
	Mandil	
	Gradilla	
	Mascarilla	
	Libreta	
	Balón aforado de 100 mm	
	Embudo de separación de 250 ml	
	Probeta de 100 ml	
	Jeringa	
	Viales de 16 mm de diámetro	
	Paños para limpiar los viales	

Fuente: (Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2021).

3.5. Caracterización inicial del agua residual de la industria láctea “PLADELACT”

En la caracterización inicial del agua residual de la industria láctea PLADELACT se analizaron los siguientes parámetros: color aparente, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, acidez expr. HCL, fosfatos, nitrógeno total, detergentes, aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos totales, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras. Los resultados obtenidos son mostrados en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Caracterización inicial del agua residual.

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados	Límite máximo permisible de la norma TULSMA, tabla 8
Color aparente	Und. Co/Pt	2120-C	6720.00	Inapreciable en dilución: 1/20
pH	-	4500-H-B	4.87	6-9
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	5.01	-
Turbiedad	NTU	2130-B	825.00	-
Cloruros	mg/l	4500-CL-D	1180.00	1000
Acidez expr. HCL	mg/l	2310-B	1020.00	-
Fosfatos	mg/l	4500-P-D	15.38	-
Nitrógeno total	mg/l	4500-N-C	110.00	60
Detergentes	mg/l	5540-C	0.25	2
Aceites y grasas	mg/l	5520-B	102.00	70
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	5210-B	9120.00	250
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	5220-D	13450.00	500
Sólidos totales	mg/l	2540-B	18250.00	1600
Coliformes totales	UFC/100 ml	9222-B	1.10 x 10⁶	-
Coliformes fecales	UFC/100 ml	9222-D	8.00 x 10⁵	2000
Mohos y levaduras	UFC/ml	Siembra en masa	2000.00	-

Fuente: (Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2021).

Conforme se observa en la Tabla 3-5, los valores de varios parámetros analizados se encuentran fuera de la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8. Estos parámetros son: pH: 4.87, cloruros: 1180.00 mg/l, nitrógeno total: 110.00 mg/l, aceites y grasas: 102.00 mg/l, DBO₅: 9120.00 mg/l, DQO: 13450.00 mg/l, coliformes fecales: 8.00 x 10⁵ UFC/100 ml. Por esta razón, se lleva a cabo diferentes tipos de tratabilidad para disminuir el grado de contaminación que presentan estas aguas.

3.6. Índice de biodegradabilidad

Posterior a la realización de la caracterización inicial del agua residual, se obtiene el índice de biodegradabilidad del efluente proveniente de la industria láctea “PLADELACT”. Este índice nos brinda una idea exacta sobre el tipo de tratamiento que debe realizarse en las aguas residuales, sea este biológico o físico-químico. En la Tabla 3-6, se muestra la relación entre los parámetros DQO y DBO₅ asociada al tipo de biodegradabilidad, y el tipo de tratamiento sugerido.

Tabla 3-6: Relación entre los parámetros DQO y DBO₅ asociada al tipo de biodegradabilidad.

$\frac{DQO}{DBO_5}$	Tipo de biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
Menor a 1.5	Muy biodegradable	Materia orgánica muy degradable y requiere de un tratamiento biológico.
Entre 1.5 y 10	Moderadamente biodegradable	Materia orgánica moderadamente biodegradable, un valor que permite cuestionar la selección de un tratamiento biológico o físico-químico.
Mayor a 10	Poco biodegradable	Materia orgánica poco degradable, es un hecho que será viable un tratamiento físico-químico.

Fuente: (Cisterna & Peña, 2015, p. 1).

El índice de biodegradabilidad se calcula considerando la relación que existe entre la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), conforme se indica en la Ecuación 3-1. Los valores de la DQO y la DBO₅ son tomados de la caracterización inicial mostrada en la Tabla 3-5.

$$I_{Biod} = \frac{DQO}{DBO_5} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

$$I_{Biod} = \frac{13450 \text{ mg/l}}{9120 \text{ mg/l}}$$

$$I_{Biod} = 1.5$$

Así, se obtiene un valor de 1.5 para el índice de biodegradabilidad de la caracterización inicial del agua residual. El tipo de biodegradabilidad para este valor es de “moderadamente biodegradable” (ver Tabla 3-6), por lo cual se justifica un tratamiento físico-químico que se lleva a cabo en el presente trabajo.

3.7. Pruebas de tratabilidad del agua residual

3.7.1. Materiales y equipos

- Probeta de 500 ml, 1000 ml
- Vasos de precipitación de 1000 ml, 400 ml, 100 ml
- Piseta
- Potenciómetro
- Balanza analítica
- Vidrio reloj
- Espátula
- Turbidímetro
- Floculador portátil
- Envases plásticos
- Fotómetro
- Balón de aforo de 100 ml
- Reverbero
- Barrilla de agitación
- Matraz Erlenmeyer
- Digestor de DQO
- Digestor de DBO
- Pipetas graduadas (5 ml, 10 ml)
- Pera de succión
- Mufla
- Bomba de aire
- Difusor de aire
- Jeringas
- Pipetas Pasteur
- Cuba de vidrio
- Grava
- Carbón activado
- Arena
- Botella plástica de 3 litros
- Estilete
- Algodón
- Tapa plástica

3.7.2. Sustancias y reactivos

- Agua destilada
- Hidróxido de sodio (NaOH) 1.02 N y 5 N
- Ácido clorhídrico 6.34 N
- Cal (óxido de calcio)

Coagulantes:

- Policloruro de aluminio (PAC) 5 % y 1 %
- Cloruro férrico (FeCl_3) 5 %
- Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 5 %
- Sulfato férrico $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 5 %

Floculantes:

- Polielectrolito al 1 %

3.7.3. Procedimiento

1. Medir el pH y la turbiedad de la muestra inicial del agua residual a tratar.
2. Preparar las soluciones de policloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato de aluminio, y sulfato férrico, al 5 %.
3. Preparar la solución de policloruro de aluminio al 1 %, y la solución de polielectrolito al 1 %.
4. Ajustar el pH con la adición de los siguientes componentes: ácido clorhídrico, hidróxido de sodio 1.02 N y 5 N, o cal.
5. Colocar 1 litro de agua residual cruda en 4 vasos de precipitación y ubicarlos dentro del floculador portátil.
6. Añadir dosis paulatinas de coagulante y agregar una cantidad fija de floculante en cada vaso de precipitación, manteniendo la concentración de este último constante.
7. Ejecutar la mezcla rápida a 300 rpm por 1 minuto.
8. Disminuir la velocidad a 100 rpm por 10 minutos.
9. Suspender la agitación y extraer las paletas de cada uno de los recipientes.
10. Dejar que las muestras se sedimenten durante 30 minutos.
11. Tomar una muestra de cada uno de los vasos de precipitación y determinar los siguientes parámetros: pH y turbiedad.
12. Repetir el procedimiento para cada uno de los coagulantes.
13. Realizar la prueba de aeración, en el caso de haber llevado a cabo la caracterización de la muestra tratada y los valores no se encuentren dentro de los límites permisibles.

14. Elaborar de manera casera un filtro, el cual conlleve los siguientes materiales; grava, carbón activado y arena.
15. Realizar la caracterización final del agua residual.

3.7.4. Experimentación

Antes de iniciar con la tratabilidad del agua residual de la industria láctea “PLADELACT”, se midió los siguientes parámetros iniciales: pH, conductividad, sólidos totales y turbiedad, conforme se indica en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7: Parámetros iniciales del agua residual.

Parámetro	Unidad	Valor
pH	-	4.28
Conductividad	mSiems/cm	9.55
Sólidos totales	mg/l	9630.00
Turbiedad	NTU	630.00

Fuente: (Laboratorio de tratamiento de aguas, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021).

3.7.4.1. Test de jarras



Figura 3-1. Test de jarras.

Realizado por: Barriga Morales, Heidi, 2021.

El test de jarras se realiza con el propósito de determinar, a nivel de laboratorio, la dosis correcta de las sustancias químicas que se deben emplear en una planta de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de mejorar los valores de los parámetros y por ende la calidad del agua a descargarse al medio ambiente. Este proceso es de mucha ayuda para el desarrollo del diseño de dicha planta.

Los diferentes tratamientos realizados en este test, se muestran a continuación:

- **Tratamiento con sulfato de aluminio al 5 %.** Se realizó una dosificación óptima de 10 ml, con una agitación constante de 300 rpm por 1 min y de 100 rpm por un tiempo de 10 min. Fue

necesario aumentar su pH con 4 ml de NaOH 1.02N, obteniendo un pH de 7.17. Finalmente, se dejó en reposo durante 30 min. Los resultados obtenidos con este tratamiento, se muestran en la Tabla 3-8.

Tabla 3-8: Test de jarras adicionando sulfato de aluminio al 5 %.

Coagulante	Dosificación (ml)	Muestra (ml)	pH	Turbiedad (NTU)
Sulfato de aluminio al 5 %, con un pH de 4.28	10	500	4.03	1510
Sulfato de aluminio al 5 %, con un pH de 7.17	10	500	6.50	902

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

- **Tratamiento con sulfato férrico al 5%.** Con una dosificación adecuada de 10 ml, se expuso a una agitación constante de 300 rpm por 1 min y 100 rpm por un tiempo de 10 min. Fue necesario aumentar su pH con 4 ml de NaOH 1.02 N, obteniendo un pH de 7.17. Finalmente, se dejó en reposo durante 30 min. Los resultados obtenidos con este tratamiento, se muestran en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9: Test de jarras adicionando sulfato férrico al 5 %.

Coagulante	Dosificación (ml)	Muestra (ml)	pH	Turbiedad (NTU)
Sulfato férrico al 5 %, con un pH de 4.28	10	500	4.03	1360
Sulfato férrico al 5 %, con un pH de 7.17	10	500	6.50	1434

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

- **Tratamiento con cloruro férrico al 5%.** Mediante una dosificación óptima de 10 ml, con una agitación constante de 300 rpm por un tiempo de 1 min y 100 rpm por un tiempo de 10 min, fue necesario aumentar su pH con 4.5 ml de NaOH 1.02 N, obteniendo un pH de 9. Finalmente, se dejó en reposo durante 30min. Los resultados obtenidos con este tratamiento, se muestran en la Tabla 3-10.

Tabla 3-10: Test de jarras adicionando cloruro férrico al 5 %.

Coagulante	Dosificación (ml)	Muestra (ml)	pH	Turbiedad (NTU)
Cloruro férrico al 5 %, con un pH de 4.28	10	500	4.03	210

Cloruro férrico al 5 %, con un pH de 7.17	10	500	6.50	346
Cloruro férrico al 5 %, con un pH de 8.68, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	10	500	7.89	206
Cloruro férrico al 5 %, con un pH de 9.48, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	6	1000	9.26	154
Cloruro férrico al 5 %, con un pH de 8.52, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	6	500	8.20	166

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

- **Tratamiento con policloruro de aluminio al 5 %.** Se ejecutó una dosificación adecuada de policloruro de aluminio al 10 %, con una agitación constante de 300 rpm por un tiempo de 1 min y 100 rpm por un tiempo de 10 min. Fue necesario aumentar su pH con 4.5 ml de NaOH 1.02 N, obteniendo un pH de 9. Finalmente, se dejó en reposo durante 30min. Los resultados obtenidos con este tratamiento, se muestran en la Tabla 3-11.

Tabla 3-11: Test de jarras adicionando policloruro de aluminio al 5 %.

Coagulante	Dosificación (ml)	Muestra (ml)	pH	Turbiedad (NTU)
Prueba 1: con un pH inicial de 4.28.	10	500	4.03	128.00
Prueba 2: con un pH inicial de 7.17.	10	500	6.50	173.00
Prueba 3: con un pH inicial de 8.68, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	10	500	8.14	94.00
Prueba 4: con un pH inicial de 9.48, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	3	1000	9.32	161.00
Prueba 5: con un pH inicial de 8.52, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	3	500	8.40	157.00
Prueba 6: con un pH inicial de 8.5, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	3	1000	8.34	117.00
Prueba 7: con un pH inicial de 8.5, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	5	500	8.17	33.00

Prueba 8: con un pH inicial de 8.5, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	7.5	500	8.20	37.60
Prueba 9: con un pH inicial de 8.52, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	4	500	8.07	17.84
Prueba 10: con un pH inicial de 8.52, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	4.5	500	8.20	16.17

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Luego de realizados los tratamientos con cada uno de los 4 coagulantes, puede determinarse que el coagulante más efectivo fue el policloruro de aluminio al 5 %, ya que se obtuvo un pH y una turbiedad adecuados. En la Tabla 3-12 se determina la dosificación con menor concentración de policloruro de aluminio al 1 %.

Tabla 3-12: Test de jarras con policloruro de aluminio al 1 %.

Coagulante: Policloruro de aluminio al 1 %	Dosificación (ml)	Muestra (ml)	pH	Turbiedad (NTU)
Prueba 1: con un pH inicial de 8.57, y adición de 0.5 de polielectrolito al 1 %.	5	500	8.53	62.30
Prueba 2: con un pH inicial de 8.51, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	10	500	8.52	43.00
Prueba 3: con un pH inicial de 8.11, y adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	25	1000	8.07	48.50

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Además, en la Tabla 3-13, se muestra los resultados obtenidos mediante la adición de policloruro de aluminio al 1 % y las sustancias cal y NaOH 5 N.

Tabla 3-13: Test de jarras con policloruro de aluminio al 1 % y las sustancias cal y NaOH 5 N.

Coagulante: Policloruro de aluminio al 1 %	Dosificación (ml)	Muestra (ml)	pH adicionando cal	pH adicionando (NaOH 5 N)	Turbiedad (NTU)
Prueba 1: con un pH inicial de 8.53, y adición de 1 g de cal.	-	500	4.81	8.42	27.70
Prueba 2: con un pH inicial de 8.53,	3	500	4.81	8.44	11.00

adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 % y 1 g de cal.					
Prueba 3: con un pH inicial de 8.51, adición de 0.5 ml de polielectrolito al 1 % y 5 g de cal.	5	1000	6.12	8.19	63.10

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Acorde se observa en la Tabla 3-13, en la prueba 2 (donde se añadió policloruro de aluminio al 1 %, cal y NaOH 5 N) se obtuvieron los mejores resultados. Así, el valor de turbiedad fue de 11 NTU y el pH de 8.44. Por lo tanto, se tomó una muestra de 200 ml de esta prueba y se procedió a realizar una caracterización para determinar el DBO₅ y el DQO con la finalidad de verificar si hubo o no un mejoramiento en el proceso de tratabilidad del agua residual. Además, previo al desarrollo del análisis indicado, se añadió 0.5 ml de cloro para disminuir la carga bacteriana, principalmente los coliformes fecales (ver Tabla 3-5). En la Tabla 3-14, se muestra los resultados obtenidos de dicha caracterización, para los siguientes parámetros: pH, turbiedad, DBO₅ y DQO.

Tabla 3-14: Caracterización con los resultados de tratabilidad del agua residual.

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados	Límite máximo permisible de la norma TULSMA, tabla 8
pH	-	4500-H-B	8.44	6-9
Turbiedad	NTU	2130-B	11.00	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	5210-B	661.00	250
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	5220-D	16000.00	500

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Conforme se observa en la Tabla 3-14, los valores de la DBO₅ y la DQO se encuentran fuera de la norma, sin conseguirse el objetivo del presente trabajo. Por tal motivo, se descartaron los tratamientos físico-químicos realizados y se planteó como una alternativa de solución el colocar la muestra cruda del agua residual en una fase previa de aeración con la finalidad de activar a los microorganismos y separar la materia orgánica del líquido.

3.7.4.2. Aeración



Figura 3-2. Prueba de aeración.

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

La prueba de aeración (ver Figura 3-2) se realizó en el laboratorio de tratamiento de aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Para esta prueba se tomó una muestra de 18.94 litros de agua residual, se puso en dos cubas de vidrio y se colocó una bomba de aire de 5 watts, en la cual se conectó dos mangueras plásticas que se depositaron en el fondo de cada una de las cubas, proporcionando un peso adicional para que se fije en el fondo del recipiente para una aeración óptima. La bomba inyectó oxígeno durante 24 horas y se dejó reposar otras 24 horas, para nuevamente efectuar el procedimiento ya realizado en el test de jarras. Los valores de los parámetros iniciales (pH, conductividad, sólidos totales y turbiedad) de la muestra de agua residual, después de realizado el proceso de aeración y antes de realizar el test de jarras, se indican en la Tabla 3-15.

Tabla 3-15: Parámetros iniciales de la muestra de agua residual después del proceso de aeración.

Parámetros	Unidades	Valores
pH	-	4.14
Conductividad	mSiems/cm	65.69
Sólidos totales	mg/l	65900.00
Turbiedad	NTU	781.00

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Luego de haber tomado los valores de los parámetros iniciales después de llevada a cabo la primera fase de aeración, se procedió con el test de jarras, adicionando policloruro de aluminio al 1 % y cal, como se muestra en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16: Test de jarras adicionando policloruro de aluminio al 1 %, cal y ácido clorhídrico 6.34 N, a la muestra previamente sometida a la primera fase de aeración.

Prueba	Muestra de agua residual (ml)	Dosificación de policloruro de aluminio al 1 % (ml)	pH final		Turbiedad
			Cal	Ácido clorhídrico (HCL 6.34 N)	
Prueba 1: con un pH inicial de 10.86 luego de añadir 5 g de cal.	500	3	11.33	-	8.00
Prueba 2: con un pH inicial de 8.52 luego de añadir 1 g de cal y 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	500	3	8.96	-	132.00
Prueba 3: con un pH inicial de 8.89 luego de añadir 3.507 g de cal y 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	500	3	10.65	-	6.47
Prueba 4: con un pH inicial de 9.16 luego de añadir 2.504 g de cal y 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	500	3	9.16	8.80	9.68
Prueba 5: con un pH inicial de 8.67 luego de añadir 2 g de cal y 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	500	3	9.63	-	50.00
Prueba 6: con un pH inicial de 8.5 luego de añadir 3 g de cal y 0.5 ml de polielectrolito al 1 %.	500	3	8.24	7.94	45.00

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Analizando los resultados del test de jarras mostrados en la Tabla 3-16, se verifica que la prueba 6 es la mejor, debido a que se consigue bajar el pH a 7.94 (valor que se encuentra dentro del rango de la norma que en promedio es de 7.5) con una turbiedad de 45.00, previa la adición de cal, polielectrolito, policloruro de aluminio al 1 % y ácido clorhídrico 6.34 N. Con estos resultados, se preparó una muestra de 2 litros para someterla a una segunda fase de aeración, previa a la etapa de filtración. En esta última etapa de filtración se llevó a cabo la caracterización final del agua residual.

3.7.4.3. Test de filtración



Figura 3-3. Prueba de filtración.

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Para la prueba de filtración (ver Figura 3-3) se utilizó una combinación de carbón activado, grava y arena. La adsorción con carbón activado se utiliza para remover toxinas y eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento físico-químico y biológico. Por otro lado, la grava y arena se utilizó como medio filtrante para remover la materia suspendida que aún está presente en el agua residual.



Figura 3-4. Agua residual con cloro.

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Además, después del proceso de filtración, se realizó una cloración de 1 ml por cada litro de agua residual filtrada (ver Figura 3-4), con el objetivo de disminuir las impurezas y obtener un mejor resultado en la caracterización final, como puede apreciarse en la Tabla 4-1.

3.8. Propuesta de la planta de tratamiento del agua residual

La propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales que se concibe para la industria láctea “PLADELACT”, consiste de seis etapas: 1) trampa de grasas y aceites, 2) sedimentación, 3) aeración (primera fase), 4) coagulación y floculación, 5) aeración (segunda fase), y 6) filtración, conforme se observa en el Gráfico 3-1. Así, la primera etapa, trampa de grasas y aceites, está conformada por una cámara pequeña de flotación, en la que los aceites y grasas flotan a la superficie libremente, mientras que el agua más clara es descargada a la siguiente etapa. La segunda etapa, sedimentación, consiste en una cámara de sedimentación, una cámara de digestión de lodos y una cámara de natas y ventilación, y sirve para retener los sólidos. La tercera etapa, aeración (primera fase), se basa en el bombeo de aire para promover el crecimiento microbiano en las aguas residuales y producir la biodegradación de materia orgánica. La cuarta etapa, coagulación y floculación, consiste en la adición de compuestos químicos para separar la materia orgánica del agua. La quinta etapa, aeración (segunda fase), actúa de manera similar a la tercera etapa, con la finalidad de disminuir la materia orgánica residual. Finalmente, la sexta etapa, filtración, consiste principalmente en un filtro de carbón activado, grava y arena, y sirve para disminuir los malos olores, turbiedad, la DBO₅, sólidos totales, el pH, entre los parámetros más importantes.



Gráfico 3-1. Propuesta de la planta de tratamiento del agua residual.

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

3.9. Dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales

3.9.1. Determinación del caudal de descarga de efluentes mediante el método volumétrico

Considerando que la industria cuenta con un sistema de sedimentación conformado por 8 tanques de almacenamiento de 1000 litros cada uno, y que diariamente se genera un promedio de 1000 litros de agua residual, se han tomado las medidas de caudal a la entrada del sistema (descarga desde la planta hacia los tanques reservorios).

Es necesario indicar que las aguas residuales de la planta industrial se recogen por gravedad en un tanque graduado de 100 litros, y una vez se alcanza aproximadamente el 70 % de su capacidad (70 litros), estas aguas son bombeadas mecánicamente y de forma automática al primer tanque del sistema de sedimentación. Entre los tanques de dicho sistema, existen conexiones superiores mediante tubos de PVC de 50 mm (2 pulgadas) para conseguir una descarga natural por rebosamiento y gravedad. El último tanque del sistema se encuentra conectado también desde su parte superior hacia un espejo de agua construido a nivel del piso, y desde aquí se realiza la descarga permanente y por gravedad de las aguas residuales al sistema de alcantarillado público. Por tanto, nótese que los caudales a la entrada y a la salida del sistema no son constantes dado que estos varían conforme a los procesos de producción y limpieza de equipos y maquinaria. Además, el sistema de sedimentación ha sido únicamente implementado por la industria con la finalidad de no colapsar con sólidos el ya deteriorado sistema de alcantarillado público de la localidad, mas no para cumplir con la normativa de descarga de efluentes regulada por la norma TULSMA. Más adelante, mediante la caracterización inicial de dichas aguas, se dará a conocer el incumplimiento de la citada norma.

3.9.1.1. Materiales

Los materiales y equipos a utilizarse para la medición del caudal de aguas residuales, son los siguientes:

- Cronómetro.
- Cámara fotográfica.
- Libreta y esfero.
- Mandil.
- Mascarilla.
- Guantes.
- Un tanque graduado de 100 litros.

3.9.1.2. Método

El método utilizado se describe a continuación:

- Las mediciones se ejecutaron manualmente y de manera directa sobre el punto de descarga desde la planta hacia el tanque graduado de 100 litros que se encuentra a nivel del piso.
- Los materiales que se utilizaron para la aplicación del método volumétrico fueron un tanque graduado de 100 litros (con el que ya cuenta la planta) y un cronómetro, con la finalidad de medir el número de litros de agua residual generados por hora. Para esto, se cambió de modo automático a modo manual el sistema de bombeo mecánico con el que cuenta la industria (desde el tanque graduado de 100 litros hacia el primer tanque del sistema de sedimentación).
- Las mediciones de aforamiento se realizaron durante una semana y en los días que labora la planta láctea, de lunes a viernes, dentro de su horario de trabajo.

3.9.1.3. Medición y determinación del caudal

Debido a que las aguas residuales generadas en los diferentes procesos de producción de la industria láctea “PLADELACT” son descargadas a un tanque graduado de 100 litros -antes de ser bombeadas mecánicamente al sistema de sedimentación con el que cuenta la industria-, la utilización del método volumétrico en este proyecto es factible. Por lo tanto, se tomaron medidas diarias del volumen de las aguas residuales emanadas por la industria, cada hora, durante las 8 horas que conlleva la jornada de trabajo. Estas mediciones son mostradas en la Tabla 3-17.

Tabla 3-17: Mediciones de caudal de salida de aguas residuales.

Hora	Volumen de Agua Residual (l)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
9:00	80	85	80	75	80
10:00	85	80	75	80	85
11:00	80	70	75	80	75
12:00	70	75	80	70	85
13:00	80	85	75	80	85
14:00	135	120	130	125	135
15:00	180	170	190	180	185
16:00	280	270	265	260	255
Caudal (l/día)	990	955	970	950	985

Realizado por: Barriga Morales, Heidi, 2021.

Por lo tanto, el caudal promedio por día se establece como la media aritmética de las mediciones realizadas de lunes a viernes, conforme se indica en la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

Ecuación 3-2

donde,

Q : Caudal promedio de descarga de aguas residuales [$m^3/día$]

Q_i : Caudal diario [$l/día$]

n : Número de días

Así,

$$Q = \frac{990 + 995 + 970 + 950 + 985}{5}$$
$$Q = 978 \frac{l}{día} \times \frac{1 m^3}{1000 l}$$
$$Q = 0.978 \frac{m^3}{día}$$

3.9.2. Determinación del caudal de diseño

Considerando que la industria láctea “PLADELACT” genera diariamente en promedio un volumen de aguas residuales de $0.978 m^3$ (ver Sección 3.9.1.3), y que dicha empresa en 10 años proyecta duplicar su producción -y por ende el volumen de aguas residuales-; el caudal de diseño para la planta de tratamiento se establece conforme se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_D = fp \times Q \quad \text{Ecuación 3-3}$$

donde,

Q_D : Caudal de diseño [$m^3/día$]

fp : Factor de proyección

Q : Caudal promedio de descarga de aguas residuales [$m^3/día$]

Así,

$$Q_D = 2 \times 0.978 \frac{m^3}{día}$$
$$Q_D \approx 2 \frac{m^3}{día}$$

3.9.3. Diseño del sistema de tuberías

Dado que la industria láctea cuenta con un sistema de tuberías para la descarga de aguas residuales al medio ambiente, en el presente trabajo se propone reutilizar dicho sistema de tuberías. Sin embargo, para conocer si este sistema abastecerá o no el caudal de diseño proyectado a 10 años, que es de aproximadamente 2 m³/día, se realiza el dimensionamiento de las tuberías (diámetro mínimo), conforme se indica en la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q_D}{v} \quad \text{Ecuación 3-4}$$

donde,

A: Área de la sección transversal de la tubería [m²]

Q_D: Caudal de diseño [m³/s]

v: Velocidad de descarga de efluentes [m/s]

Así, considerando que la velocidad de descarga de las aguas residuales es de aproximadamente 1 m/s (velocidad medida experimentalmente en el punto de salida con un tubo PVC de 1 metro y un cronómetro); y, tomando en cuenta un factor de seguridad que cubra la peor condición en la cual la velocidad disminuya hasta 0.5 m/s (hasta el 50 % de la velocidad medida) debido a un posible aumento de la densidad de los efluentes, se tiene que el área mínima de la sección transversal de las tuberías debe ser:

$$A_{min} = \frac{2 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 día}{8 h} \times \frac{1 h}{3600 s}}{0.5 \frac{m}{s}}$$
$$A_{min} = 1.39 \times 10^{-4} m^2$$

Por tanto, la sección transversal del sistema de tuberías deberá tener como mínimo 1.39 * 10⁻⁴ m², es decir, un diámetro mínimo de 13.30 mm; y, como dichas tuberías tienen un diámetro entre 50 mm (2 pulgadas) y 100 mm (4 pulgadas), su capacidad se encuentra sobredimensionada, siendo factible su reutilización.

3.9.4. Diseño de la trampa de grasas y aceites

Acorde se observa en la Figura 3-5, la trampa de grasas y aceites está conformada por una cámara pequeña de flotación, en la que los aceites y grasas flotan a la superficie libremente, mientras que el agua más clara es descargada a la siguiente etapa (sedimentación). Para que el sistema tenga un funcionamiento óptimo, se debe evitar cargas hidráulicas elevadas ya que estas pueden provocar agitación excesiva del contenido impidiendo la flotación normal de las grasas y aceites. En la Tabla 3-18, se detalla los criterios de diseño para la trampa de grasas y aceites.

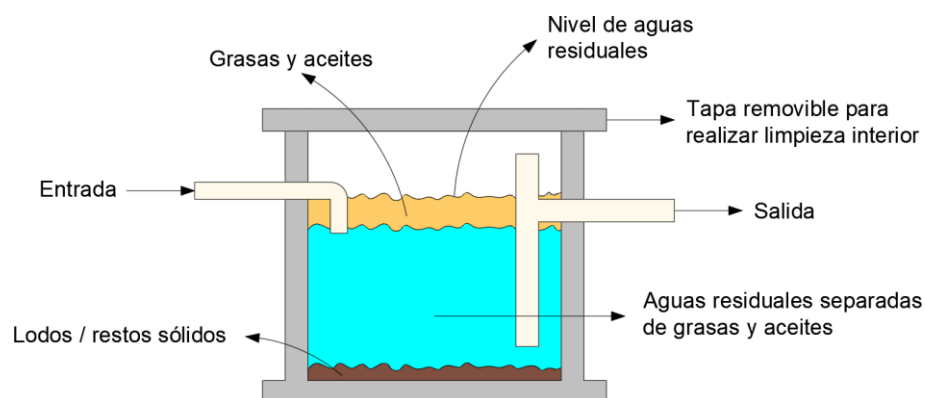


Figura 3-5. Trampa de grasas y aceites.

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Tabla 3-18: Criterios de diseño para la trampa de grasas y aceites.

Parámetro del diseño	Valor	Unidad
Relación ancho/largo ¹	1:4 – 1:18	-
Tiempo de retención ²	0.5 – 3	h
Profundidad ²	Menor a 0.8	m
Velocidad ascendente mínima ¹	4	mm/s
Ingreso ²	Codo de 90° diámetro mínimo de 75	mm
Parte inferior del codo de entrada ²	0.15 por debajo del nivel de líquido	m
Parte superior de la tubería de salida deberá tener una ventilación ²	No menor de 0.05	m
El espacio sobre el nivel del líquido ²	Mínimo 0.03	m
Salida ²	Tee con diámetro mínimo de 75	mm
Pendiente ²	45 a 60	°
Diferencia de nivel entre tubería de ingreso y tubería de salida ²	Mayor a 0.05	m
Diámetro de tuberías de entrada ¹	Mínimo 50	mm
Parte inferior de la tubería de salida ²	No menos de 0.075 ni más de 0.15 del fondo	m
Diámetro de tuberías de salida ¹	Mínimo 100	mm

Fuente: ¹ (RAS-2000, 2000, p. 12), ² (OPS/CEPIS/05.158, 2005, p. 25).

3.9.4.1. Volumen del tanque

$$V = Q_D \times tr \quad \text{Ecuación 3-5}$$

donde,

V : Volumen del tanque [m^3]

Q_D : Caudal de diseño [m^3/h]

tr : Tiempo de retención [h]

Considerando un tiempo mínimo de retención de 1 h, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-18, se tiene que

$$V = 2 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} \times 1 \text{ h}$$
$$V = 0.25 \text{ m}^3$$

3.9.4.2. Área del tanque

$$A = \frac{V}{P} \quad \text{Ecuación 3-6}$$

donde,

A : Área del tanque [m^2]

V : Volumen del tanque [m^3]

P : Profundidad del tanque [m]

Considerando una profundidad de 0.8 m, conforme se sugiere en la Tabla 3-18, se obtiene que

$$A = \frac{0.25 \text{ m}^3}{0.8 \text{ m}}$$
$$A = 0.31 \text{ m}^2$$

3.9.4.3. Ancho del tanque

Considerando una relación ancho/largo de 1:4, conforme a los criterios de diseño sugeridos en la Tabla 3-18, el ancho del tanque se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{A}{4}} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

donde,

a : Ancho del tanque [m]

A : Área del tanque [m²]

Reemplazando valores, se tiene que

$$a = \sqrt{\frac{0.31 \text{ m}^2}{4}}$$
$$a = 0.28 \text{ m}$$

3.9.4.4. Largo del tanque

Manteniendo la relación ancho/largo de 1:4, considerada para el cálculo del ancho del tanque, el largo se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$L = a \times 4 \quad \text{Ecuación 3-8}$$

donde,

L : Largo del tanque [m]

a : Ancho del tanque [m]

Reemplazando valores, se tiene que

$$L = 0.28 \text{ m} \times 4$$
$$L = 1.12 \text{ m}$$

3.9.5. Diseño del tanque IMHOFF

Acorde se observa en la Figura 3-6, el tanque IMHOFF es un tanque de doble cámara que integra la sedimentación y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad. Tiene una operación sencilla y no necesita de partes mecánicas. Generalmente tiene forma rectangular y se divide en tres compartimentos:

- Cámara de sedimentación. Unidad donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables.
- Cámara de digestión de lodos. Unidad donde se almacenan y digieren los lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas. Unidad donde se ventilan y acumulan las sustancias espesas que se forman encima del agua almacenada en el tanque, compuestas por desechos orgánicos e inorgánicos flotantes.

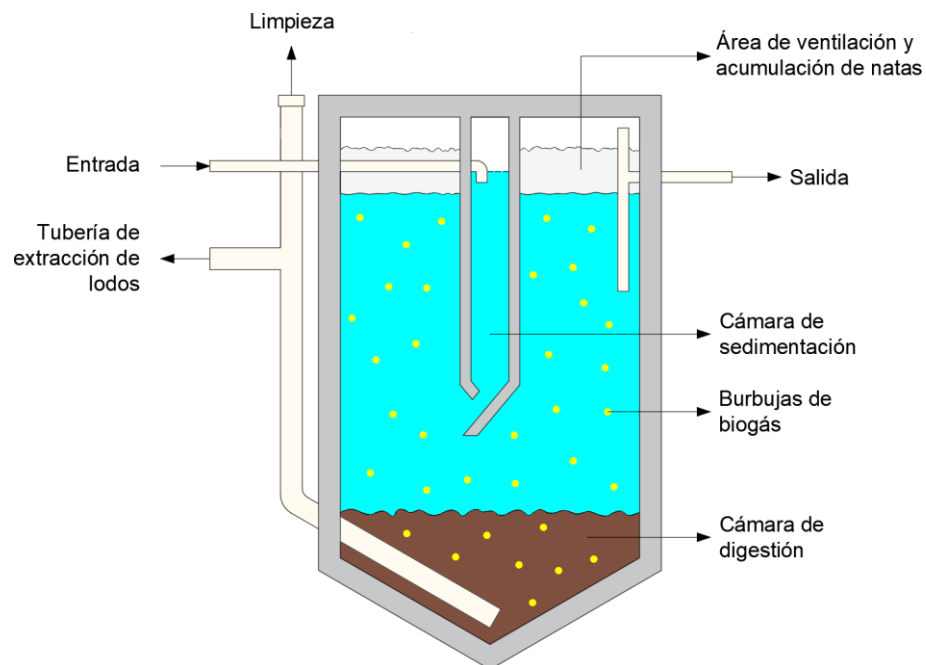


Figura 3-6. Tanque IMHOFF.

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

A continuación, en la Tabla 3-19 se muestra las condiciones de diseño recomendadas para tanques IMHOFF.

Tabla 3-19: Criterios de diseño recomendadas para tanques IMHOFF.

Criterios de diseño		
Parámetros	Valor	Unidad
Profundidad del tanque	> 6	m
Cámara de sedimentación		
Relación ancho/largo	1:2 – 1:5	-

Carga de desbordamiento superficial	1	m ³ /(m ² *hora)
Tiempo de retención	1.5 – 2.5	horas
Fondo del tanque (vertedero):		
Pendiente de los lados, respecto a la horizontal	50 – 60	°
Abertura de la arista central	0.15 – 0.20	m
Prolongación de la proyección de un lado	0.15 – 0.20	m
Cámara de digestión de lodos		
Factor de capacidad relativa (f _{cr}):		
Si temperatura = 5 °C	2.0	-
Si temperatura = 10 °C	1.4	-
Si temperatura = 15 °C	1.0	-
Si temperatura = 20 °C	0.7	-
Si temperatura > 25 °C	0.5	-
Pendiente de las paredes laterales del fondo del digestor, respecto a la horizontal	15 – 30	°
Altura mínima entre la superficie de los lodos del digestor y el fondo del sedimentador	0.5	m
Tiempo requerido para la digestión de lodos:		
Si temperatura = 5 °C	110	días
Si temperatura = 10 °C	76	días
Si temperatura = 15 °C	55	días
Si temperatura = 20 °C	40	días
Si temperatura > 25 °C	30	días
Tubería de remoción de lodos:		
Diámetro mínimo	200	mm
Altura desde el fondo del tanque	0.15	m
Área de ventilación y acumulación de natas		
Superficie entre las paredes del digestor y sedimentador:		
Área libre mínima, respecto del área total del tanque	30	%
Distancia mínima entre las paredes del digestor y del sedimentador	1.0	m
Altura mínima entre las natas y el borde del tanque	0.3	m

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163, 2005, p. 38).

3.9.5.1. Cámara de sedimentación

- Área del sedimentador

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

Ecuación 3-9

donde,

A_s : Área del sedimentador [m^2]

Q_D : Caudal de diseño [m^3/h]

C_s : Carga superficial [$m^3/(m^2 \cdot h)$]

Considerando una carga superficial de $1 m^3/(m^2 \cdot h)$, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-19, se tiene que

$$A_s = \frac{2 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{8 h}}{1 m^3/(m^2 h)}$$
$$A_s = 0.25 m^2$$

- Ancho del sedimentador

Considerando una relación ancho/largo de 1:2, conforme a los criterios de diseño sugeridos en la Tabla 3-19, el ancho del sedimentador se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$a_s = \sqrt{\frac{A_s}{2}} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

donde,

a_s : Ancho del sedimentador [m]

A_s : Área del sedimentador [m^2]

Reemplazando valores, se tiene que

$$a_s = \sqrt{\frac{0.25 m^2}{2}}$$
$$a_s = 0.35 m$$

- Largo del tanque

Manteniendo la relación ancho/largo de 1:2, considerada para el cálculo del ancho del sedimentador, el largo se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$L = a_s \times 2$$

Ecuación 3-11

donde,

L : Largo del tanque [m]

a_s : Ancho del sedimentador [m]

Reemplazando valores, se tiene que

$$L = 0.35 \text{ m} \times 2$$

$$L = 0.70 \text{ m}$$

- Volumen del sedimentador

$$V_s = Q_D \times R$$

Ecuación 3-12

donde,

V_s : Volumen del sedimentador [m³]

Q_D : Caudal de diseño [m³/h]

R : Período de retención hidráulica [h]

Considerando un período de retención de 2 horas, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-19, se tiene que

$$V_s = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} \times 2 \text{ h}$$

$$V_s = 0.50 \text{ m}^3$$

- Área de la sección transversal del sedimentador

$$A_{ts} = \frac{V_s}{L}$$

Ecuación 3-13

donde,

A_{ts} : Área de la sección transversal del sedimentador [m²]

V_s : Volumen del sedimentador [m^3]

L : Largo del tanque [m]

$$A_{ts} = \frac{0.50 m^3}{0.70 m}$$

$$A_{ts} = 0.71 m^2$$

- Profundidad del vertedero

$$h_v = \frac{a_s \times \tan(\alpha)}{2}$$

Ecuación 3-14

donde,

h_v : Profundidad del vertedero [m]

a_s : Ancho del sedimentador [m]

α : Ángulo de inclinación de los lados del vertedero, respecto a la horizontal [°]

Considerando un ángulo de inclinación de los lados del vertedero de 50°, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-19, se tiene que

$$h_v = \frac{0.35 m \times \tan(50^\circ)}{2}$$

$$h_v = 0.21 m$$

- Profundidad del sedimentador

$$h_s = \frac{A_{ts}}{a_s} + \frac{h_v}{2}$$

Ecuación 3-15

donde,

h_s : Profundidad del sedimentador [m]

A_{ts} : Área de la sección transversal del sedimentador [m^2]

a_s : Ancho del sedimentador [m]

h_v : Profundidad del vertedero [m]

$$h_s = \frac{0.71 \text{ m}^2}{0.35 \text{ m}} + \frac{0.21 \text{ m}}{2}$$

$$h_s = 2.13 \text{ m}$$

3.9.5.2. Cámara de digestión de lodos

- Volumen del digestor

$$V_d = \frac{70 \times P \times f_{cr}}{1000} \quad \text{Ecuación 3-16}$$

donde,

V_d : Volumen del digestor [m^3]

P : Población

f_{cr} : Factor de capacidad relativa

Considerando que la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que una persona requiere de 100 litros de agua al día para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene (Gobierno de México, 2021, p. 1); y, para alcanzar el caudal de diseño de la planta de tratamiento que es de 2000 litros por día, se establece una “población” de 20 personas. Además, tomando en cuenta que la temperatura ambiental de la localidad en la cual se encuentra ubicada la industria láctea es de aproximadamente 10 °C, se establece un factor de capacidad relativa de 1.4, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-19. Por tanto, se tiene que

$$V_d = \frac{70 \times 20 \times 1.4}{1000}$$

$$V_d = 1.96 \text{ m}^3$$

- Área de la sección transversal del digestor

$$A_{td} = \frac{V_d}{L} \quad \text{Ecuación 3-17}$$

donde,

A_{td} : Área de la sección transversal del digestor [m^2]

V_d : Volumen del digestor [m^3]

L : Largo del tanque [m]

$$A_{td} = \frac{1.96 \text{ m}^3}{0.70 \text{ m}}$$
$$A_{td} = 2.23 \text{ m}^2$$

- Ancho del tanque

$$a = a_s + (2 \times d_{ds}) \quad \text{Ecuación 3-18}$$

donde,

a : Ancho del tanque [m]

a_s : Ancho del sedimentador [m]

d_{ds} : Distancia entre las paredes del digestor y el sedimentador [m]

Considerando una distancia de 1.2 m entre las paredes del digestor y el sedimentador, conforme a los criterios de diseño del área de ventilación y acumulación de natas mostrados en la Tabla 3-19, se tiene que

$$a = 0.35 \text{ m} + (2 \times 1.2 \text{ m})$$
$$a = 2.75 \text{ m}$$

- Profundidad del fondo del digestor

$$h_f = \frac{a \times \tan(\beta)}{2} \quad \text{Ecuación 3-19}$$

donde,

h_f : Profundidad del fondo del digestor [m]

a : Ancho del tanque [m]

β : Ángulo de inclinación de los lados del fondo del digestor, respecto a la horizontal [°]

Considerando un ángulo de inclinación de los lados del fondo del digestor de 30 °, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-19, se tiene que

$$h_f = \frac{2.75 \text{ m} \times \tan(30^\circ)}{2}$$

$$h_f = 0.79 \text{ m}$$

- Profundidad del digestor

$$h_d = \frac{A_{td}}{a} + \frac{h_f}{2} \quad \text{Ecuación 3-20}$$

donde,

h_d : Profundidad del digestor [m]

A_{td} : Área de la sección transversal del digestor [m²]

a : Ancho del tanque [m]

h_f : Profundidad del fondo del digestor [m]

$$h_d = \frac{2.23 \text{ m}^2}{2.75 \text{ m}} + \frac{0.79 \text{ m}}{2}$$

$$h_d = 1.21 \text{ m}$$

- Profundidad del tanque IMHOFF

$$h = h_d + h_{ds} + h_s + h_{nb} \quad \text{Ecuación 3-21}$$

donde,

h : Profundidad del tanque IMHOFF [m]

h_d : Profundidad del digestor [m]

h_{ds} : Altura entre la superficie de los lodos del digestor y el fondo del sedimentador [m]

h_s : Profundidad del sedimentador [m]

h_{nb} : Altura entre la superficie de las natas y el borde del tanque [m]

Considerando una altura de 1 m entre la superficie de los lodos del digestor y el fondo del sedimentador y una altura de 0.5 m entre la superficie de las natas y el borde del tanque, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-19, se tiene que

$$h = 1.21 \text{ m} + 1.0 \text{ m} + 2.13 \text{ m} + 0.5 \text{ m}$$

$$h = 4.84 \text{ m}$$

3.9.6. Diseño del tanque de aeración

En la Tabla 3-20 y Tabla 3-21, se muestran los valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos.

Tabla 3-20: Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos.

Coeficiente	Unidad	Valor
Y	mgSSV/DQO	0.449
K_d	d^{-1}	0.0017

Fuente: (METCALF & EDDY, INC., 1995, p. 1).

Tabla 3-21: Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos.

Modificación del proceso	θ_c, d	F/M Kg DBO ₅ aplicada/Kg SSVLM d	Carga volumétrica Kg DBO ₅ aplicada/m ³ /d	SSLM, mg/L	V/Q, h	Q_r/Q
Mezcla completa	5-15	0.2-0.6	0.80-1.92	2500- 4000	3-5	0.25-1.0

Fuente: (METCALF & EDDY, INC., 1995, p. 2).

3.9.6.1. Volumen del tanque de aeración

$$V_{TA} = \frac{\theta_c Y (S_o - S) Q}{x(1 + K_d \theta_c)} \quad \text{Ecuación 3-22}$$

donde,

V_{TA} : Volumen del tanque de aireación; (m^3)

θ_c : Tiempo medio de retención celular, basado en el tanque de aireación, día

Y: Coeficiente de producción celular, kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada

S_o : [DBO₅] en el afluente, kg/m^3

Q: Caudal residual a tratar, $m^3/día$

X: [SSV] en tanque de aireación, kg/m^3

K_d : Coeficiente de degradación endógena, $día^{-1}$

$$V_{TA} = \frac{5 \times 0.449 \text{ kg}(13.45 - 9.12) \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ m}^3/\text{dia}}{4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1 + 0.0017 \text{d}^{-1} \times 5 \text{ dias})}$$

$$V_{TA} = 3.82 \text{ m}^3$$

3.9.6.2. Profundidad del tanque

$$V_{TA} = a \times H_{TA} \times P_{TA} \quad \text{Ecuación 3-23}$$

donde,

V_{TA} : Volumen del tanque de aeración, m^3

a : Ancho del tanque de aeración, m

H_{TA} : Altura del tanque de aeración, 4.60 m

P_{TA} : Profundidad del tanque de aeración, m

$$P_{TA} = \sqrt{\frac{V_{TA}}{H_{TA} \times a}}$$

$$P_{TA} = \sqrt{\frac{4.82 \text{ m}^3}{4.60 \text{ m} \times 1.5}}$$

$$P_{TA} = 0.83 \text{ m}$$

3.9.6.3. Ancho del tanque

$$a = 1.5 P_{TA} \quad \text{Ecuación 3-24}$$

donde,

a : Ancho del tanque de aeración; m

P_{TA} : Profundidad del tanque de aeración; m

$$a = 1.5 \text{ m} \times 0.83 \text{ m}$$

$$a = 1.25 \text{ m}$$

3.9.6.4. Tiempo de retención hidráulica

$$\theta = \frac{V_{TA}}{Q}$$

Ecuación 3-25

donde,

θ : Tiempo de retención en el tanque; h

V_{TA} : Volumen del tanque de aeración; m^3

Q : Caudal del agua residual a tratar; m^3/h

$$\theta = \frac{4.82m^3}{0.083 m^3/h}$$

$$\theta = 58.07 h$$

3.9.6.5. Producción de lodo activado

- Producción observada

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \times \theta_C}$$

Ecuación 3-26

donde,

Y_{obs} : Producción observada; kg/kg

Y : Coeficiente de producción celular; kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada

K_d : Coeficiente de degradación endógena; día⁻¹

θ_C : Tiempo medio de retención celular

$$Y_{obs} = \frac{0.449}{1 + 0.0017 \times 10}$$

$$Y_{obs} = 0.441$$

- Producción diaria neta de lodo

$$P_X = Y_{obs} \times Q(S_o - S)$$

Ecuación 3-27

donde,

P_X : Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles; kg/día

Y_{obs} : Producción observada; kg/kg

Q : Caudal del agua residual a tratar; $m^3/día$

S_o : [DBO₅] en el afluente; kg/m^3

S : [DBO₅] en el efluente, kg/m^3

$$P_X = 0.441 \times 2(13.45 - 9.12)$$

$$P_X = 3.82$$

- Purga desde el tanque de aeración

$$Q_W = \frac{V_{TA}}{\theta_C}$$

Ecuación 3-28

donde,

Q_W : Caudal de purga de fango desde el tanque de aeración; $m^3/día$

V_{TA} : Volumen del tanque de aeración; m^3

θ_C : Tiempo de retención celular basado en el volumen del tanque de aeración; día

$$Q_W = \frac{4.82 \text{ m}^3}{10 \text{ días}}$$

$$Q_W = 0.482 \text{ m}^3/días$$

- Caudal de recirculación

$$Q_W = \frac{Q_r}{Q}$$

Ecuación 3-29

donde,

Q_r : Caudal de recirculación; $m^3/día$

Q : Caudal; $m^3/día$

$$Q_r = 0.5 \times 0.978$$

$$Q_r = 0.498 \text{ m}^3/días$$

3.9.6.6. Necesidad y transferencia de oxígeno

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_0 - S)}{f} - 1.42P_x \quad \text{Ecuación 3-30}$$

donde,

Q: Caudal del agua residual a tratar; $m^3/\text{día}$

S_0 : [DBO5] en el afluente; kg/m^3

S: [DBO5] en el efluente; kg/m^3

f: Factor de conversión de DBO₅ en DBOL; (0.45-0.68)

P_x : Producción diaria neta de fango activado; $kg/\text{día}$

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{0.978(13.45 - 9.12)}{0.50} - 1.42 \times 3.82$$
$$kg, \frac{O_2}{d} = 3.05$$

3.9.6.7. Caudal de aire necesario tomando en cuenta la eficiencia de transferencia de oxígeno en los equipos de aeración

- Caudal de aire teórico

$$Caudal_{aire\ teorico} = \frac{\frac{kgO_2}{d}}{\rho_{aire} F_{O_2}} \quad \text{Ecuación 3-31}$$

donde,

$Caudal_{aire\ teorico}$: Caudal del aire teórico; $m^3/\text{día}$

$\frac{kgO_2}{d}$: Demanda teórica de oxígeno; $kg/\text{día}$

ρ_{aire} : Densidad del aire a condiciones estándar; kg/m^3 (1.20 kg/m^3)

F_{O_2} : Fracción de oxígeno en el aire; kg/kg (0.2315)

$$Caudal_{aire\ teorico} = \frac{3.05}{1.20\ kg/m^3 \times 0.2315}$$
$$Caudal_{aire\ teorico} = 10.98\ m^3/\text{día}$$

- Caudal de aire real

Se asume una eficiencia de transferencia de oxígeno del 8 % para los equipos de aeración en condiciones reales.

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{Caudal_{aire\ teorico}}{e} \quad \text{Ecuación 3-32}$$

donde,

$Caudal_{aire\ real}$: Caudal de aire real; $m^3/día$

$Caudal_{aire\ teorico}$: Caudal de aire teórico; $m^3/día$

e: Eficiencia

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{10.98\ m^3/día}{0.08}$$

$$Caudal_{aire\ real} = 137.25\ m^3/día$$

- Demanda de aire

$$Demanda_{aire\ real} = Caudal_{aire\ real} F_s \quad \text{Ecuación 3-33}$$

donde,

$Demanda_{aire\ real}$: Demanda de aire real; $m^3/día$

$Caudal_{aire\ real}$: Caudal de aire real; $m^3/día$

F_s : Factor de seguridad

Se adopta un factor de seguridad de 2.0 m

$$Demanda_{aire\ real} = 137.25\ m^3/día \times 2.0$$

$$Demanda_{aire\ real} = 274.5\ \frac{m^3}{día}$$

$$Demanda_{aire\ real} = 3.18 \times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

- Potencia necesaria

$$P_W = \frac{WRT_1}{29.7ne} \left\{ \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{0.283} - 1 \right\} \quad \text{Ecuación 3-34}$$

donde,

P_W : Potencia necesaria para cada soplante

W: Caudal de aire en peso; kg/s

R: Constante universal de los gases; kJ/kmol °K

T_1 : Temperatura absoluta a la entrada; °K

P_1 : Presión absoluta a la entrada; atm

P_2 : Presión absoluta a la salida; atm

n: k^{-1}/k

K: 1,395 para el aire

e: Eficiencia

$$P_W = \frac{3.18 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 8.314 \text{ KJ}/\text{Kmol}^\circ\text{K} \times 287^\circ\text{K}}{29.7 \times 0.283 \times 0.80} \left\{ \left[\frac{1.42 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \right]^{0.283} - 1 \right\}$$

$$P_W = 0.12 \text{ KW}$$

3.9.7. Diseño de la cámara de coagulación y floculación

Las condiciones de operación serán:

- Tiempo de detención: Entre 15 a 20 minutos.
- Relación entre el largo y ancho de la cámara (L/B) valores entre 3 - 6.
- Relación de las superficies de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.
- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0.15 m/s para no crear movimientos dentro de la banda de sedimentación.
- Tipo de mezclador: Paleta de dos aspas.
- Velocidad de agitación, 100 rpm. Recopilado del libro de hidráulica para tratamiento de aguas residuales (METCALF & EDDY, INC., 1995, pp. 158-175).

3.9.7.1. Cálculo del volumen de aditivos químicos

$$V_a = \text{Dosificación} \times V_{ww} \quad \text{Ecuación 3-35}$$

donde,

V_{ww} : Volumen de agua residual; l

V_a : Volumen de aditivos; l

$$V_a = 0.012 \times 2$$

$$V_a = 0.024 \text{ m}^3$$

3.9.7.2. Cálculo del volumen total a tratar

$$V_p = V_a + V_{ww}$$

Ecuación 3-36

donde,

V_p : Volumen total para el tratamiento; m^3

V_a : Volumen de aditivos; m^3

V_{ww} : Volumen a procesar de agua residual; m^3

$$V_p = 0.024 + 2$$

$$V_p = 2.024 \text{ m}^3$$

3.9.7.3. Cálculo del volumen del tanque

$$V_t = V_p + F_s$$

Ecuación 3-37

donde,

V_t : Volumen del tanque; m^3

V_p : Volumen de solución a procesar; m^3

F_s : Factor de derramamiento, 10% para evitar que se derrame la solución

$$V_t = 2.024 + 0.1$$

$$V_t = 2.124 \text{ m}^3$$

3.9.7.4. Cálculo del caudal en la coagulación

$$Q_c = \frac{V_t}{t}$$

Ecuación 3-38

donde,

Q_c : Caudal de coagulación; m^3/s

V_t : Volumen del tanque; m^3

t : Tiempo de residencia de la solución; s

$$Q_c = \frac{2.124}{900}$$

$$Q_c = 2.36 \times 10^{-3} m^3/s$$

3.9.7.5. Cálculo del ancho del tanque

$$V_t = \frac{L \times H}{2} \times b$$

Ecuación 3-39

donde,

V_t : Volumen del tanque; m^3

L : Largo de la cámara de coagulación; m

H : Altura de la cámara de coagulación; m

b : Ancho de la cámara de coagulación; m

Relación entre el largo y ancho de la cámara (L/B) valores entre 3.5

Relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5

$$\frac{L}{b} = 3.5$$

$$L = 3.5 b$$

$$L = 5 H$$

$$V_t = \frac{3.5 b \times \frac{3.5 b}{5}}{2} \times b$$

$$V_t = \frac{12.5 m^3}{2}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{2 V_t}{12.5 \text{ m}^3}}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{2 \times 2.124_t}{12.5 \text{ m}^3}}$$

$$b = 0.70 \text{ m}$$

3.9.7.6. Cálculo de la longitud del tanque de coagulación

$$\frac{L}{B} = 3.5$$

Ecuación 3-40

donde,

L: Largo de la cámara de coagulación; m

b: Ancho de la cámara de coagulación; m

$$L = 3.5 \times B$$

$$L = 3.5 \times 0.70$$

$$L = 2.45 \text{ m}$$

3.9.7.7. Cálculo de la altura del tanque de coagulación

$$\frac{L}{H} = 5$$

Ecuación 3-41

donde,

L: Largo de la cámara de coagulación; m

H: Altura de la cámara de coagulación; m

$$H = \frac{l}{5}$$

$$H = \frac{2.45}{5}$$

$$H = 0.49 \text{ m}$$

3.9.7.8. Cálculo del área total de orificios

$$A_0 = \frac{Q_0}{v_0} \quad \text{Ecuación 3-42}$$

donde,

A_0 : Área total de los orificios; m^2

Q_0 : Caudal de coagulación; m^3/s

v_0 : Velocidad de flujo en los orificios; m/s

$$A_0 = \frac{2.36 \times 10^{-3} m^3/s}{0.15}$$
$$A_0 = 0.02 m^2$$

3.9.7.9. Cálculo del área de cada orificio

$$a_0 = \pi \times (r_0)^2 \quad \text{Ecuación 3-43}$$

donde,

a_0 : área de cada orificio; m^2

r_0 : radio de cada orificio; m/s

$$a_0 = 3.1416 \times (0.1)^2$$
$$a_0 = 0.03 m^2$$

3.9.7.10. Número de orificios

$$n_0 = \frac{A_0}{a_0} \quad \text{Ecuación 3-44}$$

donde,

n_0 : Número de orificios, unidades

a_0 : Área de cada orificio; m^2

A_0 : Área total de los orificios; m^2

$$n_0 = \frac{0.59}{0.03}$$

$$n_0 = 20$$

3.9.7.11. Separación entre orificios

$$S_0 = \frac{A_t}{n_0} \quad \text{Ecuación 3-45}$$

donde,

S_0 : Separación entre orificios; m

n_0 : Número de orificios; unidades

A_t : Altura del tanque; m

$$S_0 = \frac{0.59}{20}$$

$$S_0 = 0.030 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$S_0 = 3 \text{ cm}$$

3.9.7.12. Cálculo de las dimensiones de la paleta agitadora

- Diámetro del impulsor

$$\frac{D_i}{H} = 0.33 \quad \text{Ecuación 3-46}$$

donde,

D_i : Diámetro del impulsor; m

H: Altura del tanque; m

$$D_i = 0.33 \times H$$

$$D_i = 0.33 \times 0.58$$

$$D_i = 0.19 \text{ m}$$

- Distancia entre el impulsor y el fondo del tanque

$$E = 0.33 \times H$$

Ecuación 3-47

donde,

E: Separación entre el fondo del tanque y el impulsor; m

H: Altura del tanque; m

$$E = 0.33 \times 0.58$$

$$E = 0.19 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura del impulsor

$$h_p = H - E$$

Ecuación 3-48

donde,

h_p : Altura del impulsor; m

H: Altura del tanque; m

E: Separación entre el fondo del tanque y la paleta; m

$$h_p = 0.60 - 0.19$$

$$h_p = 0.41 \text{ m}$$

- Cálculo del largo de la paleta

$$\frac{g}{D_i} = 0.25$$

Ecuación 3-49

donde,

g: Altura de la paleta; m

D_i : Diámetro del impulsor; m

$$g = 0.25D_i$$

$$g = 0.25 \times 0.19$$

$$g = 0.05 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de la paleta

$$\frac{w}{D_i} = 0.20$$

Ecuación 3-50

donde,

w: Ancho de la paleta; m

D_i : Diámetro del impulsor; m

$$w = 0.20D_i$$

$$w = 0.20 \times 0.19$$

$$w = 0.04 \text{ m}$$

- Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{N \times H^2 \times \rho}{\mu}$$

Ecuación 3-51

donde,

N: velocidad de giro; rps

H: Altura del tanque; m

ρ : Densidad del agua residual; Kg/m^3

μ : Viscosidad dinámica del fluido; Pa.s

$$Re = \frac{1.66 \times 0.58^2 \times 1200}{1.93 \times 10^{-3}}$$

$$Re = 347206$$

- Cálculo de la potencia del motor

$$P = \frac{KT \times N^3 \times (D_i)^5 \times \rho}{\eta}$$

Ecuación 3-52

donde,

P: Potencia del motor; Nm/s

N: Velocidad de giro; rps

D_i : Diámetro del impulsor; m

ρ : Densidad del lixiviado, Kg/m^3

KT: Constante de acuerdo con el número de Reynolds, el valor se muestra en la Tabla 3-22

η : Eficiencia, para el caso de motores comerciales 75%

$$P = \frac{1.70 \times 1.66^3 \times (0.19)^5 \times 1200}{0.75}$$

$$P = 3.08 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ HP}}{745 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}}$$

$$P = 4.13 \times 10^{-3} \text{ HP}$$

A continuación, en la Tabla 3-22 se muestra las constantes para el cálculo de la potencia del motor en un mezclador de acuerdo con el tipo de impulsor.

Tabla 3-22: Constantes para el cálculo de la potencia del motor en un mezclador de acuerdo con el tipo de impulsor.

Tipo de impulsor	KL	KT
Hélice paso cuadrado, tres palas	41.0	0.32
Hélice paso de 2, tres palas	43.5	1.00
Turbina, seis palas planas	71.0	6.30
Turbina de ventilador, seis palas	70.0	1.65
Turbina dos palas planas	36.5	1.70

Fuente: (McCABE, 2011, p. 1).

- Cálculo de la velocidad horizontal de sedimentación

$$V_h = \frac{100 \times Q}{B \times H} \quad \text{Ecuación 3-53}$$

donde,

V_h : Velocidad horizontal de sedimentación; m/s

Q: Caudal de sedimentación; m^3/s

B: Ancho del sedimentador; m

H: Altura del sedimentador; m

$$V_h = \frac{100 \times 2.36 \times 10^{-3}}{0.86 \times 0.58}$$
$$V_h = 0.47 \frac{m}{s}$$

- Cálculo del periodo de retención

$$T_r = \frac{V_{ww}}{Q}$$

Ecuación 3-54

donde,

T_r : Tiempo de retención; s

Q: Caudal de sedimentación, m^3/s

V_{ww} : Volumen de agua residual m^3

$$T_r = \frac{2}{2.36 \times 10^{-3}}$$
$$T_r = 847.5 \text{ seg} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$
$$T_r = 14.13 \text{ min}$$

- Longitud del vertedero

$$l_v = \frac{Q}{c_s}$$

Ecuación 3-55

donde,

l_v : Longitud del vertedero; m

Q: Caudal de sedimentación; m^3/s

c_s : Carga Superficial; $m^3/m/s$

$$l_v = \frac{2.36 \times 10^{-3}}{0.165}$$
$$l_v = 0.01 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura del vertedero

$$Y = \left[\frac{Q}{1376 w} \right]^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ecuación 3-56}$$

donde,

Y: alto del vertedero; m

Q: caudal de salida; m^3/s

w: ancho del vertedero; m

$$Y = \left[\frac{2}{1376 \times 0.15} \right]^{\frac{2}{3}}$$
$$Y = 0.05 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$
$$Y = 5 \text{ cm}$$

3.9.8. Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente

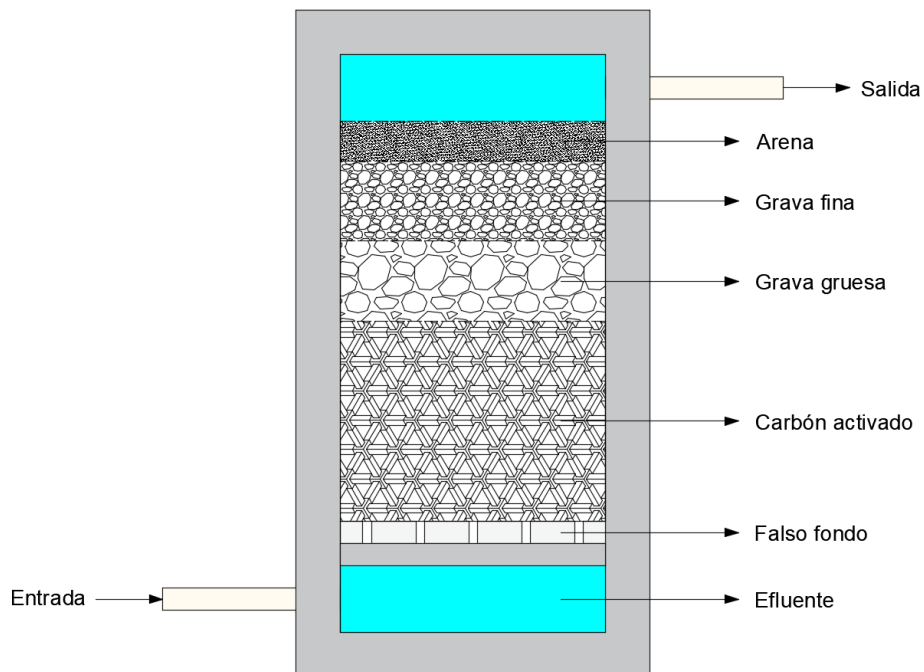


Figura 3-7. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Realizado por: Barriga Morales, Heidi, 2021.

El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) (ver Figura 3-7), también llamado reactor anaerobio, es un componente ocasional en plantas de tratamiento. Su función consiste en reducir

la carga contaminante de las aguas servidas. Este filtro es uno de los más fáciles de mantener debido a que su biomasa acostumbra a permanecer como una película microbiana para la remoción de materia orgánica en condiciones anaerobias. En la Tabla 3-23, se muestran los criterios de diseño del filtro referido.

Tabla 3-23: Criterios de diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Parámetro	Rango	Unidad
Profundidad útil	≥ 1.80	m
Diámetro (ancho)	0.85 – 5.40	m
Volumen útil mínimo	≥ 1.25	m ³
H medio soporte	≥ 1.2	m
Salida del efluente sobre el lecho	≥ 30	cm
Tiempo de retención hidráulica	1 – 2	día
Carga orgánica	1 – 30	Kg DQO/(m ³ *día)
Velocidad del flujo	< 10	m/día
Edad de lodos	0.5 – 5	día
Distancia entre orificios de entrada	1 – 2	m

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Económico de la República de Colombia, 2000, p. 5).

3.9.8.1. Volumen del filtro

$$V = Q_D \times t_r \quad \text{Ecuación 3-57}$$

donde,

V: Volumen del filtro [m³]

Q_D : Caudal de diseño [m³/día]

t_r : Tiempo de retención hidráulica [día]

Considerando un tiempo de retención hidráulica de 1 día, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-23, se tiene que

$$V = 2 \frac{m^3}{día} \times 1 \text{ día}$$

$$V = 2 \text{ m}^3$$

3.9.8.2. Área transversal del filtro

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

Ecuación 3-58

donde,

A : Área transversal del filtro [m^2]

V : Volumen del filtro [m^3]

h_u : Profundidad útil del filtro [m]

Considerando una profundidad útil del filtro de 1.8 m, conforme a los criterios de diseño mostrados en la Tabla 3-23, se tiene que

$$A = \frac{2 \text{ m}^3}{1.8 \text{ m}}$$
$$A = 1.11 \text{ m}^2$$

3.9.8.3. Diámetro del filtro

$$\phi = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Ecuación 3-59

donde,

ϕ : Diámetro del filtro [m]

A : Área transversal del filtro [m^2]

Reemplazando valores, se tiene que

$$\phi = 2 \sqrt{\frac{1.11 \text{ m}^2}{\pi}}$$
$$\phi = 1.19 \text{ m}$$

3.9.8.4. Profundidad total de la cámara del filtro

$$h = h_u + 0.80$$

Ecuación 3-60

donde,

h : Profundidad total de la cámara del filtro [m]

h_u : Profundidad útil del filtro [m]

Reemplazando valores, se tiene que

$$h = 1.80 \text{ m} + 0.80 \text{ m}$$

$$h = 2.60 \text{ m}$$

3.9.8.5. Material de filtrado

Conforme a los resultados obtenidos en las pruebas experimentales de filtración del agua residual realizadas en el laboratorio, en las que se utilizó una combinación de los siguientes materiales:

- 50 % de carbón activado.
- 40 % de grava (gruesa y fina).
- 10 % de arena.

Para la profundidad útil del filtro de 1.80 m, se establecieron las siguientes cantidades de los materiales indicados. Esto es:

- 0.90 m de carbón activado ($0.90 \text{ m} \times 1.11 \text{ m}^2 = 1.00 \text{ m}^3$).
- 0.72 m de grava ($0.72 \text{ m} \times 1.11 \text{ m}^2 = 0.80 \text{ m}^3$): 0.36 m de grava gruesa (0.40 m^3) y 0.36 m de grava fina (0.40 m^3).
- 0.18 m de arena ($0.18 \text{ m} \times 1.11 \text{ m}^2 = 0.20 \text{ m}^3$).

Con estas cantidades de material de filtración se espera eliminar el color del agua residual y disminuir su olor, además de remover la materia orgánica residual que logre pasar el tratamiento físico-químico y biológico. Si luego de llevarse a cabo una caracterización final del agua residual tratada con la planta propuesta se verifica que ciertos parámetros no se encuentran dentro de la norma TULSMA, tabla 8; se propone en el presente trabajo una etapa final de cloración. Con esta etapa se garantizará el cumplimiento de la referida norma, considerando las pruebas de tratabilidad llevadas a cabo en el laboratorio. Para implementar la etapa de cloración bastará, únicamente, agregar un tanque reservorio de al menos 100 litros para adicionar 1 ml de cloro por cada litro de agua residual, previa la descarga de dichas aguas a la red de alcantarillado público.

3.10. Análisis de costos

El análisis de costos de la planta de tratamiento de aguas residuales es mostrado en la Tabla 3-24 y Tabla 3-25. En la Tabla 3-24 se indican los costos detallados de las diferentes etapas de la planta: trampa de grasas y aceites, tanque IMHOFF para sedimentación, aeración, coagulación y floculación, y filtración. En la Tabla 3-25 se indica un cuadro resumen con los costos totales de la planta.

Tabla 3-24: Análisis de costos de las diferentes etapas de la planta de tratamiento.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U. (USD)	Precio T. (USD)
Trampa de grasas y aceites				
Excavación mecánica con tractor	m ³	3.00	1.51	4.53
Replanteo de H.S. 140 kg/cm ²	m ³	1.00	82.00	82.00
Acero de refuerzo f y=4200 Kg/cm ²	Kg	60.00	1.27	76.20
Hormigón Simple S.f'C= 210 Kg/cm ² encofrado	m ³	2.00	92.00	184.00
Enlucido vertical con impermeabilización	m ²	10.00	10.00	100.00
Malla electrosoldada 10x10x6mm	m ²	2.00	5.00	10.00
Tubería PVC D=100mm 1.00MPa E/C + prueba + válvula	m	10.00	42.00	420.00
			Subtotal	876.73
Tanque IMHOFF				
Desbroce y limpieza	m ²	4.00	0.17	0.68
Replanteo y nivelación	m ²	4.00	1.50	6.00
Acero de refuerzo f y=4200 Kg/cm ²	Kg	60.00	1.27	76.20
Excavación mecánica con tractor	m ³	3.60	1.51	5.44
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ³	2.00	82.00	164.00
Hormigón simple F'C= 210 Kg/cm ²	m ³	4.00	92.00	368.00
Enlucido vertical con impermeabilización	m ²	20.00	10.00	200.00
Encofrado de madera	m ²	18.00	5.00	90.00
Malla electrosoldada 10x10x6mm	m ²	3.00	5.00	15.00
Tubería PVC D=110mm desagüe + válvula	m	10.00	18.00	180.00
			Subtotal	1105.32
Sistema de aeración				
Desbroce y limpieza	m ²	6.00	0.17	1.02
Replanteo y nivelación	m ²	6.00	1.50	9.00
Acero de refuerzo f y=4200 Kg/cm ²	Kg	100.00	1.27	127.00
Excavación mecánica con tractor	m ³	4.30	1.51	6.49
Relleno compactado para conformación de plataformas	m ³	30.00	1.97	59.10
Material de Reposición	m ³	30.00	1.36	40.80
Sum,-Ins, Geomembrana 1000 micras	m ²	6.00	1.49	8.94
Cargada de Material a máquina	m ³	30.00	0.90	27.00
Transporte de material hasta 5 km	m ³	30.00	1.80	54.00
Sum,-Ins, Tubería PVC Desagüe D=50 mm	m	4.00	7.05	28.20
Sum,-Ins, Tubería PVC Desagüe D=110 mm	m	4.00	20.30	81.20
Sum,-Ins, Tee PVC Desagüe D=50 mm	u	2.00	5.52	11.04
Sum, Tapón PVC Desagüe D=110 mm	u	2.00	1.62	3.24
Sum, Reductor PVC Desagüe D=110 x 50 mm	u	2.00	4.55	9.10
Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=110 mm 90 grad.	u	2.00	1.26	2.52

Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=50 mm 90 grad.	u	2.00	0.80	1.60
Hormigón Simple 210 kg/cm ²	m ³	12.00	92.00	1104.00
Sum,-Ins, Malla electrosoldada R 84	m ²	4.30	8.21	35.30
Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V6)	m	6.00	15.38	92.28
Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V5)	m	6.00	16.79	100.74
Motor eléctrico para compresión de 1/4 Hp	u	1.00	225.00	225.00
			Subtotal	2027.58
Tanque de coagulación y floculación				
Desbroce y limpieza	m ²	4.00	0.17	0.68
Replanteo y nivelación	m ²	4.00	1.50	6.00
Acero de refuerzo f y=4200 Kg/cm ²	Kg	50.00	1.27	63.50
Excavación mecánica con Tractor	m ³	3.50	1.51	5.29
Relleno compactado para conformación de plataformas	m ³	20.00	1.97	39.40
Material de Reposición	m ³	20.00	1.36	27.20
Sum,-Ins, Geomembrana 1000 micras	m ²	4.00	1.49	5.96
Cargada de Material a máquina	m ³	20.00	0.90	18.00
Transporte de material hasta 5 km	m ³	20.00	1.80	36.00
Sum,-Ins, Tee PVC Desagüe D=50 mm	u	2.00	5.52	11.04
Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=110 mm 90 grad.	u	2.00	1.26	2.52
Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=50 mm 90 grad.	u	2.00	0.80	1.60
Hormigón Simple 210 kg/cm ²	m ³	7.00	92.00	644.00
Sum,-Ins, Malla electrosoldada R 84	m ²	4.00	8.21	32.84
Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V6)	m	6.00	15.38	92.28
Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V5)	m	6.00	16.79	100.74
Colocación de una pantalla difusora de Hormigón Simple 210 kg/cm ²	m ³	1.00	83.67	83.67
Agitador de acero	u	1.00	200.00	200.00
Motor eléctrico a 220 V de 1/4 HP	u	1.00	150.00	150.00
			Subtotal	1520.72
Filtro anaerobio de flujo ascendente				
Desbroce y limpieza	m ²	2.50	0.17	0.43
Replanteo y nivelación	m ²	2.50	1.50	3.75
Acero de refuerzo f y=4200 Kg/cm ²	Kg	40.00	1.27	50.80
Excavación mecánica con Tractor	m ³	2.00	1.51	3.02
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ³	2.50	82.00	205.00
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm ²	m ³	4.20	92.00	386.40
Enlucido vertical con impermeabilización	m ²	8.00	10.00	80.00
Malla electro soldada 10x10x6mm	m ²	2.00	5.00	10.00
Relleno de grava gruesa	m ³	1.20	27.00	32.40
Relleno de carbón activado	m ³	0.60	80.00	48.00
Relleno de arena	m ³	0.20	20.00	4.00
Tubería PVC D=110mm desagüe + válvula	m	8.00	18.00	144.00
			Subtotal	967.80

Realizado por: Barriga Morales, Heidy, 2021.

Tabla 3-25: Costo total de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U. (USD)	Precio T. (USD)
Trampa de grasas y aceites	u.	1.00	876.73	876.73
Tanque IMHOFF	u.	1.00	1105.32	1105.32
Sistema de aeración	u.	2.00	2027.58	4055.15
Tanque de coagulación y floculación	u.	1.00	1520.72	1520.72
Filtro anaerobio de flujo ascendente	u.	1.00	967.80	967.80
			Total	8525.71

Realizado por: Barriga Morales, Heidi, 2021.

Por tanto, acorde se observa en la Tabla 3-25, el costo total de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesto asciende a un valor aproximado de \$8525.71 USD (ocho mil quinientos veinte y cinco dólares americanos con 71/100).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas de tratabilidad de las aguas residuales de la industria láctea PLADELACT (ver sección 3.7), se llevó a cabo la caracterización final de dichas aguas con el propósito de conocer si los valores de los parámetros obtenidos (pH, conductividad, turbiedad, DQO, DBO₅, etc.) cumplen o no con la normativa para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público. Los resultados de dicha caracterización son mostrados en la Tabla 4-1, en la cual se detallan, además, los valores de la caracterización inicial y los límites establecidos en la referida norma del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8. Las caracterizaciones fueron realizadas en el laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos (ver ANEXO A).

Tabla 4-1: Caracterización final del agua residual de la industria láctea PLADELACT.

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Caracterización			Límite máximo permisible de la norma TULSMA, tabla 8
			Inicial	Final	Remoción (%)	
Color aparente	Und. Co/Pt	2120-C	6720.00	72.00	98.9286	Inapreciable en dilución: 1/20
pH	-	4500-H-B	4.87	7.38	-	6-9
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	5.01	1.25	75.0499	-
Turbiedad	NTU	2130-B	825.00	2.80	99.6606	-
Cloruros	mg/l	4500-CL-D	1180.00	780.00	33.8983	1000
Acidez expr. HCL	mg/l	2310-B	1020.00	< 10.00	> 99.0196	-
Fosfatos	mg/l	4500-P-D	15.38	0.27	98.2445	-
Nitrógeno total	mg/l	4500-N-C	110.00	6.70	93.9091	60
Detergentes	mg/l	5540-C	0.25	< 0.10	> 60.4743	2
Aceites y grasas	mg/l	5520-B	102.00	10.40	89.8039	70
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	5210-B	9120.00	187.00	97.9496	250
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	5220-D	13450.00	492.00	96.3420	500
Sólidos totales	mg/l	2540-B	18250.00	980.00	94.6301	1600
Coliformes totales	UFC/100 ml	9222-B	1.10E+06	< 10.00	> 99.9991	-
Coliformes fecales	UFC/100 ml	9222-D	8.00E+05	< 10.00	> 99.9988	2000
Mohos y levaduras	UFC/ml	Siembra en masa	2000.00	15.00	99.2500	-

Fuente: (Laboratorio de servicios analíticos químicos y microbiológicos en aguas y alimentos, 2021).

Acorde se indica en la Tabla 4-1, el agua tratada cumple con los valores estipulados en la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8.

Así, el tratamiento de aguas residuales propuesto cumple con su propósito. Por tal motivo, la industria láctea “PLADELACT” puede implementar la planta de tratamiento diseñada en el presente trabajo técnico con la finalidad de acatar la normativa vigente y evitar la contaminación del medio ambiente, así como, sanciones punitivas futuras.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica inicial del agua residual proveniente de la industria láctea “PLADELACT”. Los valores de los parámetros que se encuentran fuera de la norma ambiental son: pH = 4.78 (ref. 6-9), cloruros = 1180 mg/l (máx. 1000), nitrógeno total = 110.0 mg/l (máx. 60), aceites y grasas = 102.0 mg/l (máx. 70), DBO₅ = 9120 mg/l (máx. 250), DQO = 13450 mg/l (máx. 500), sólidos totales 18250 mg/l (máx. 1600), coliformes fecales = 8×10^5 UFC/100 ml (máx. 2000).
- Se efectuaron pruebas piloto de tratabilidad en varias muestras de las aguas residuales de la industria láctea “PLADELACT”, se evidenció que el tratamiento con policloruro de aluminio al 1 %, cal y ácido clorhídrico 6.34 N, es el más propicio para el diseño de la planta de tratamiento.
- Se realizaron los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea “PLADELACT”. La propuesta que se concibió para el diseño de dicha planta está conformada por seis etapas: 1) trampa de grasas y aceites ($V = 0.25 \text{ m}^3$), 2) sedimentación ($V_s = 0.50 \text{ m}^3$, $V_d = 1.96 \text{ m}^3$), 3) aeración (primera fase) ($V_{TA} = 3.82 \text{ m}^3$), 4) coagulación y floculación ($V_t = 2.12 \text{ m}^3$), 5) aeración (segunda fase) ($V_{TA} = 3.82 \text{ m}^3$), y 6) filtración ($V = 2 \text{ m}^3$).
- Se validó técnicamente el diseño propuesto para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea “PLADELACT”, bajo la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 8. Así, se verificó que los valores de los parámetros obtenidos: pH = 7.38 (ref. 6-9), cloruros = 780 mg/l (máx. 1000), nitrógeno total = 6.7 mg/l (máx. 60), aceites y grasas = 10.4 mg/l (máx. 70), DBO₅ = 187 mg/l (máx. 250), DQO = 492 mg/l (máx. 500), sólidos totales 980 mg/l (máx. 1600), coliformes fecales < 10 UFC/100 ml (máx. 2000), cumplen con la referida norma.

RECOMENDACIONES

- En vista a que el parámetro de coliformes fecales fue elevado en la caracterización inicial del efluente de la industria láctea “PLADELACT”, y dado que estas aguas son separadas del sistema sanitario y enviadas a tanques de sedimentación que se encuentran abiertos y cercanos al lugar donde se encuentra ganado vacuno, las heces de estos animales están contaminando dichas aguas. Por lo tanto, se sugiere que la empresa cuente con un procedimiento de sedimentación cerrado y aislado de dichos contaminantes, ya que es perjudicial para las personas que se encuentran al alrededor y por ende para la producción.
- Con la finalidad de mejorar la tratabilidad del agua residual, y dado que la industria láctea PLADELACT cuenta con un sistema de sedimentación únicamente, se sugiere reutilizar los 8 tanques de dicho sistema entre la primera etapa (trampa de grasas y aceites) y la segunda etapa (tanque IMHOFF) de la planta de tratamiento.
- Si luego de llevarse a cabo una caracterización final del agua residual tratada con la planta propuesta se verifica que ciertos parámetros no se encuentran dentro de la norma general para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, del libro VI TULSMA, ANEXO 1, TABLA 8; se recomienda añadir una etapa final de cloración. Con esta etapa se garantizará el cumplimiento de la referida norma, considerando las pruebas de tratabilidad llevadas a cabo en el laboratorio.
- Se recomienda además que, dado que el proceso de tratamiento incluye la manipulación de sustancias químicas, el personal debe ser capacitado adecuadamente para evitar riesgos laborales, es decir, se capacite con seminarios de seguridad industrial en el uso y manejo de dichos productos.

BIBLIOGRAFÍA

BERMEO, M. *Tratamiento de aguas residuales: técnicas convencionales*. Segunda. Guayaquil : s.n., 2016. 978-9942-13-872-9.

BRIÃO, V. B.; & GRANHEN TAVARES, C. R. *Effluent generation by the dairy industry: preventive attitudes and opportunities*. 2007. pp. 487-497. Vol. 24. 0104-6632.

CHHONKAR, P. K.; et al. *Impact of industrial effluents on soil health and agriculture - Indian experience: part I - distillery and paper mill effluents*. s.l. : NISCAIR-CSIR, India, 2000. pp. 350-361. Vol. 59. 0975-1084.

CISTERNA, P.; & PEÑA, D. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. [Online] 2015. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>.

FARIZOGLU, B.; & UZUNER, S. *The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system*. s.l. : Elsevier B.V., 2011. pp. 46-54. Vol. 57. 1369-703X.

FERRER, J.; et al. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Valencia : Universitat Politècnica de València, 2018. 978-84-9048-640-5.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Management of waste from animal product processing, Dairy industry. [Online] January 1996. [Cited: January 18, 2021.] <http://www.fao.org/3/X6114E/x6114e06.htm#4.%20DAIRY%20INDUSTRY>.

GANAPATHY, S. G.; et al. *Microbial diversity and bioremediation of distilleries effluent*. 2011. pp. 153-162. Vol. 1.

GOBIERNO DE MÉXICO. ¿Sabes cuánta agua consumes? [Online] 10 02, 2021. <https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes>.

HEALY, M. G.; et al. Biotreatment of marine crustacean and chicken egg shell waste. [book auth.] M. Moo-Young, W. A. Anderson and A. M. Chakrabarty. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. s.l. : Springer, Dordrecht, 1995, pp. 302-319.

KOLHE, A. S.; & PAWAR, V. P. *Physico-chemical analysis of effluents from dairy industry*. 2011. pp. 29-32. Vol. 3. 2076-5061.

KOLHE, A. S.; et al. *Effluent of dairy technology*. 2009. Vol. II. 0974-2832.

KUMAR, D.; et al. *Pollution Abatement in Milk Dairy Industry*. 2011. pp. 145-152. Vol. 1. 2230-7842.

KUSHWAHA, J. P.; et al. *An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters*. 2011. pp. 442-452. Vol. 5.

MACOON, B.; et al. *Dairy Effluent Effects on Herbage Yield and Nutritive Value of Forage Cropping Systems*. 2002. pp. 1043-1049. Vol. 94.

MCPEC. *Agenda para la Transformación Productiva Territorial: Provincia de Chimborazo*. Riobamba : Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011.

METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales - tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid : McGraw-Hill, 1995. Vol. I. 84-481-1727-1.

MEUL, M.; et al. *Validating sustainability indicators: focus on ecological aspects of flemish dairy farms*. 2009. pp. 284-295. Vol. 9. 1470-160X.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000. [Online] Noviembre 2000. https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483.

MUNAVALLI, G. R.; & SALER, P. S. *Treatment of dairy wastewater by water hyacinth*. s.l. : IWA Publishing, 2009. pp. 713-722. Vol. 59. 0273-1223.

NAGDA, G. K.; et al. *Seed germination bioassays to assess toxicity of molasses fermentation based bulk drug industry effluent*. 2006. pp. 1598-1603. Vol. 5. 1579-4377.

OPS/CEPIS/05.158. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. [Online] 2005. [Cited: 10 15, 2020.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>.

OPS/CEPIS/05.163. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques IMHOFF y lagunas de estabilización. [Online] 2005. [Cited: 10 16, 2020.] https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf.

PAGE, L.; et al. *Characteristics of volatile fatty acids in stored dairy manure before and after anaerobic digestion.* s.l. : Elsevier, 2014. pp. 16-28. Vol. 118. 1537-5110.

PERLE, M.; et al. *Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater.* s.l. : Elsevier, 1995. pp. 1549-1554. Vol. 29. 0043-1354.

PORWAL, H. J.; et al. *Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge.* s.l. : Elsevier, 2015. pp. 1-15. Vol. 9. 2212-3717.

RAMALHO, R. *Tratamiento de aguas residuales.* Segunda. New York : Reverté, S. A., 1983.

RAMJEAWON, T. *Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories.* 2000. pp. 503-510. Vol. 8. 0959-6526.

RAS-2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento: Tratamiento de Aguas. [Online] 2000. [Cited: 10 15, 2020.] http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf.

RODRIGUES, M. A.; et al. *Application of photoelectrochemical–electrodialysis treatment for the recovery and reuse of water from tannery effluents.* 2008. pp. 605-611. Vol. 16. 0959-6526.

RODRÍGUEZ, H. Iagua. *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes.* [Online] Marzo 13, 2017. [Cited: Enero 21, 2021.] <https://www.iagua.es>.

ROMERO ROJAS, J. A. *Tratamiento de aguas residuales - teoría y principios de diseño.* Bogotá : Escuela colombiana de ingeniería, 2010. 958-8060-13-3.

SOEDERHJELM, P.; & LINDQVIST, B. *The ammonia content of milk as an indicator of its biological deterioration or ageing.* 1980. pp. 541-543. Vol. 35.

TERÁN FLORES, J. M. *Análisis del mercado de la leche en Ecuador: factores determinantes y desafíos.* Valencia : Universitat Politècnica de València, 2019.

ULERY, A.; et al. *Appropriate Preservation of Dairy Wastewater Samples for Environmental Analysis.* s.l. : Kluwer Academic Publishers, 2004. pp. 117-124. Vol. 95. 1573-2959.

VALDEZ, E.; & VAZQUÉZ, A. *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales.* México, D. F. : Fundación ICA, 2003. 968-7508-05-4.

VERHEIJEN, L. A.; et al. *Management of waste from animal product processing.* Wageningen : s.n., 1996.

VERMA, A.; et al. *Physico-chemical analysis of effluent from dairy industry.* 2012. pp. 2061-2066. Vol. 10.

ZAMBRANO, D.; et al. *La producción de leche en Ecuador y Chimborazo: nuevas oportunidades e implicaciones ambientales.* Sangolquí : s.n., 2017. pp. 270-289. Vol. 10. 1390-938x.

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIONES INICIAL Y FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT"

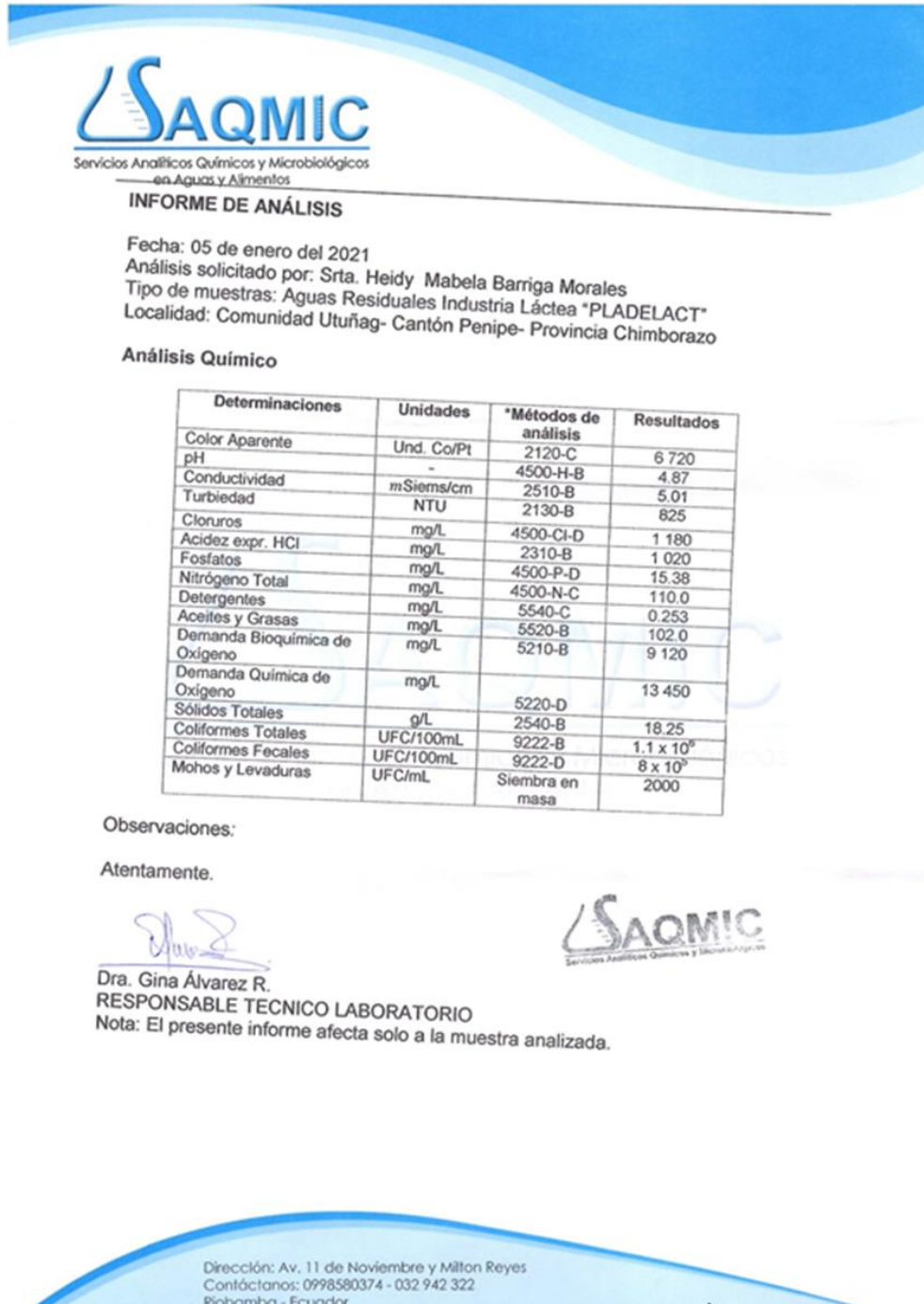


Figura A-1. Caracterización inicial de las aguas residuales.

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2021.

INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 05 de marzo del 2021

Análisis solicitado por: Srta. Heidy Barriga Morales

Tipo de muestras: Aguas Residuales Industria Láctea (Tratada)

Localidad: Riobamba

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Color Aparente	Und. Co/Pt	2120-C	72
pH	-	4500-H-B	7.38
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1 250
Turbiedad	NTU	2130-B	2.8
Cloruros	mg/L	4500-Cl-D	780
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	0.27
Nitrógeno Total	mg/L	4500-N-C	6.7
Detergentes	mg/L	5540-C	<0.10
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	10.4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	187
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	492
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	980
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222-B	< 10
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-D	< 10
Mohos y Levaduras	UFC/mL	Siembra en masa	15

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



Figura A-2. Caracterización final de las aguas residuales.

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2021.

ANEXO B: EXPERIMENTACIÓN



a)



b)



c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS ELABORADO POR: Mabela Barriga	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
a) Toma de muestras b) Digestor de DBO c) Digestor de DQO	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



a)



b)



c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS ELABORADO POR: Mabela Barriga	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
a) Filtración del agua residual b) Reconocimiento del lugar c) Refrigeración de la muestra	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar				
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		2	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



a)



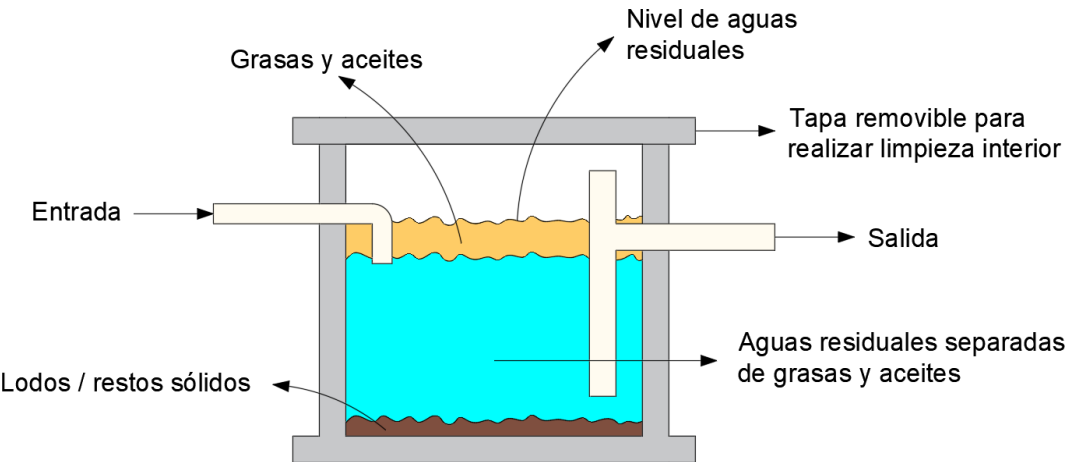
b)



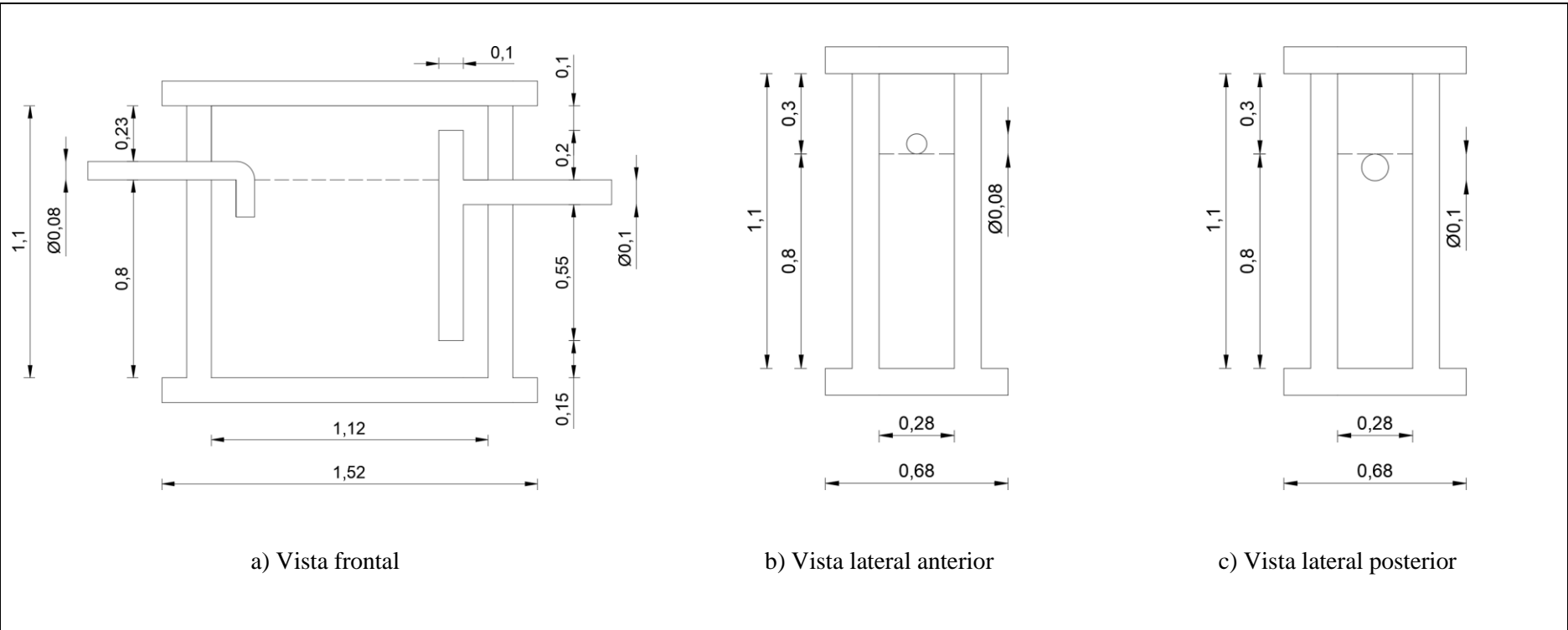
c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS ELABORADO POR: Mabela Barriga	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
a) Turbidímetro b) Tanques de sedimentación c) Tanque reservorio	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar				
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	

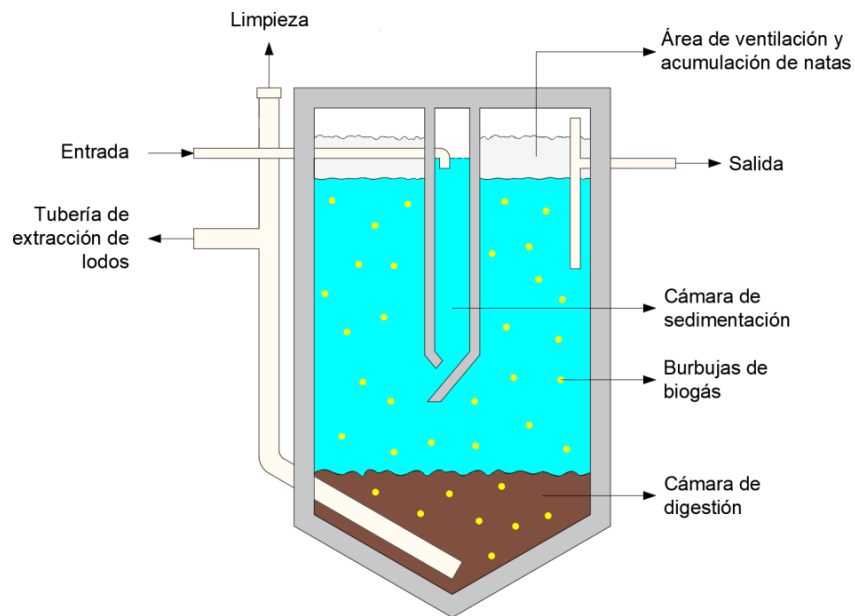
ANEXO C: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA “PLADELACT”



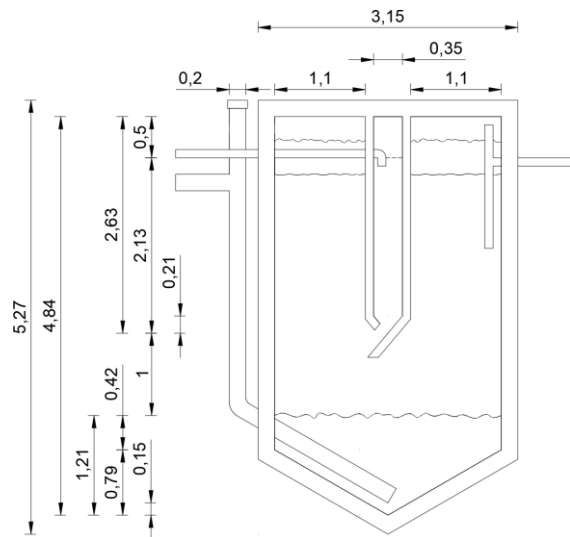
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		<p align="center">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p align="center">FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p align="center">ELABORADO POR: Mabela Barriga</p>	<p align="center">DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA “PLADELACT” UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG</p>		
<p align="center">TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		4	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



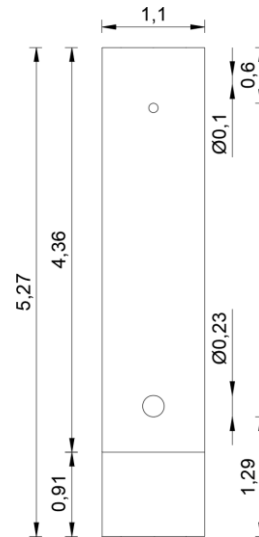
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		5	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



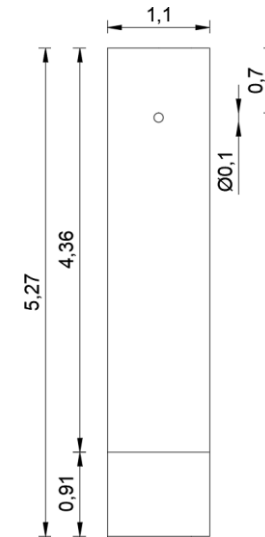
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
TANQUE IMHOFF	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		6	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



a) Vista frontal

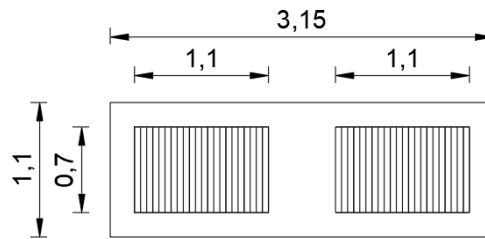


b) Vista lateral anterior



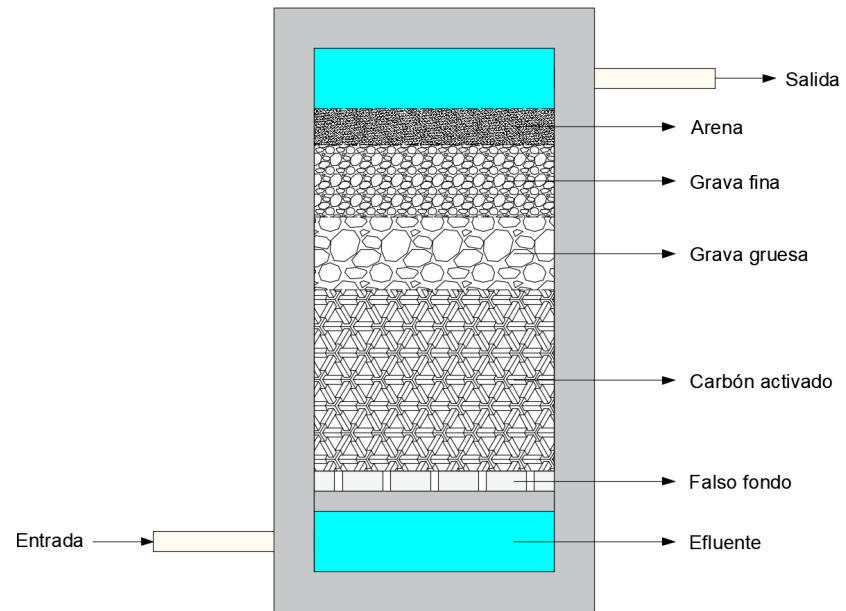
c) Vista lateral posterior

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
TANQUE IMHOFF	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		7	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				

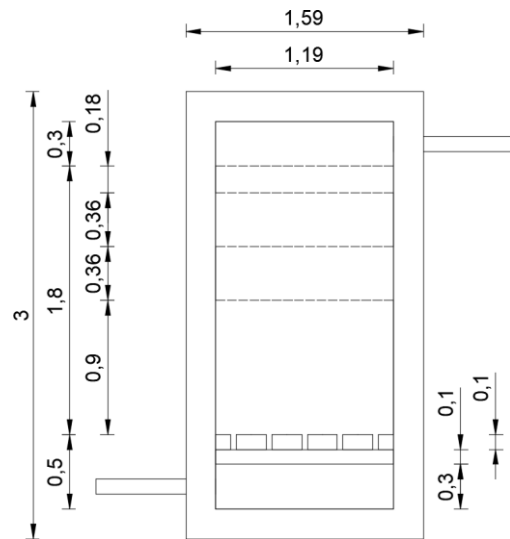


a) Vista superior

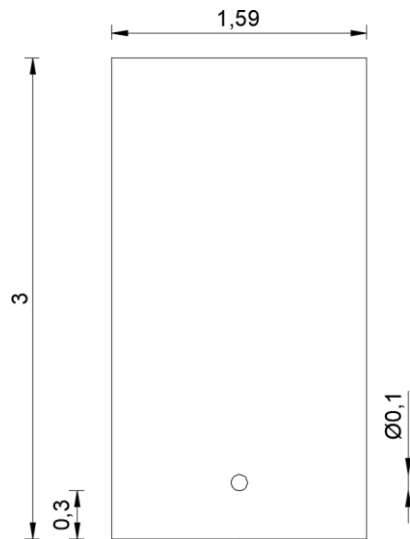
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
TANQUE IMHOFF	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		8	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



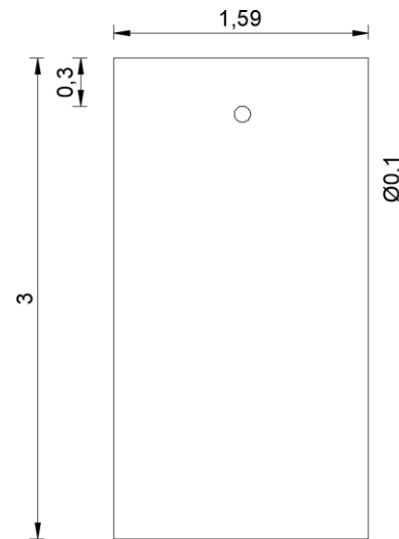
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		9	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



a) Vista frontal

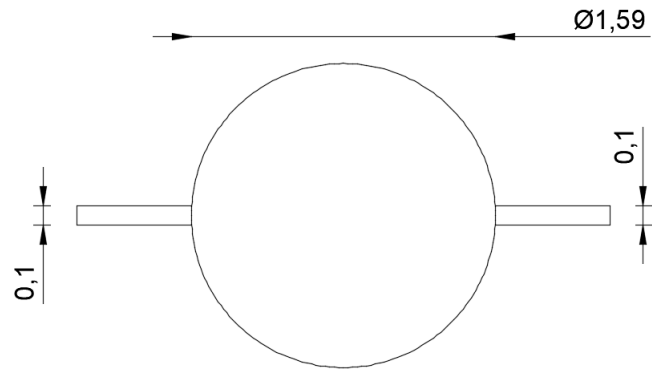


b) Vista lateral anterior



c) Vista lateral posterior

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		10	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



a) Vista superior

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Mabela Barriga	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA "PLADELACT" UBICADA EN LA COMUNIDAD DE UTUÑAG		
FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		11	-	19/03/2021
	<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Heidy Mabela Barriga Morales</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2022.04.20 09:30:09 -05'00'



0730-DBRA-UTP-2022