

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA LÁCTEA “LA ESENCIA” UBICADA EN EL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.

Autores:

Palate Checa Christopher Bryan
Romero Anchapanta Álvaro Javier

DIRECTOR DEL PROYECTO:

MSc. Douglas Guzmán

AMBATO-ECUADOR

2020

AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi eterno agradecimiento a mi Padre Dios por regalarme el don de vivir
y ser un mejor ser humano.*

*A mis padres, hermanos, amigos, familiares y novia por brindarme tanto su apoyo moral
como psicológico, para seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un presente y
futuro mejor*

*A la Escuela de Ingeniería Ambiental, a la Facultad de Ciencias de la Vida de la
Universidad Estatal Amazónica, de manera especial al MSc. Raúl Valverde Lara y al MSc.
Pedro Peñafiel Arcos por haberme brindado su colaboración en cuanto a conocimientos y
criterio profesional, para mejorar el desarrollo del proyecto investigativo.*

*A la empresa láctea “La Esencia”, por la apertura y apoyo incondicional durante el
desarrollo del estudio*

Palate Checa Christopher Bryan

*Me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado,
porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*A la UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA por darme la oportunidad de estudiar y ser
un profesional.*

*A mis padres Margoth Anchapanta y Abraham Romero quienes con su amor, paciencia y
esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí
el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo
siempre.*

Romero Anchapanta Álvaro Javier

DEDICATORIA

A Dios, por su fidelidad, protección y misericordia especial en mi vida

A mi padre, Luis Palate que me ha brindado su apoyo incondicional, confianza a lo largo de mi vida y motivarme a ser siempre alguien mejor.

A mi madre, Guadalupe Checa por su inmenso que ha sido mi soporte en las decisiones que he tomado, la paciencia y protección con la que me acompaña en mi caminar.

A mis hermanos, Lisbeth Palate & Mario Palate quienes me han brindado su afecto y palabras de aliento en los momentos difíciles.

A mi mejor compañía que tuve en la formación de mi vida y carrera, Nicole Toa que con su amor, paciencia, fidelidad, generosidad y alegría me ha dado la fuerza para salir adelante en cualquier circunstancia y poder llegar a cumplir uno de mis sueños.

A los profesores y amigos que forman parte de mi vida, ya que con sus consejos y ayuda aportaron con un granito de arena poder culminar esta etapa.

Palate Checa Christopher Bryan

Este trabajo de titulación lo dedico a mis padres Margoth Anchapanta y Abraham Romero, que, por su amor, sacrificio y apoyo a lo largo de toda mi carrera, sin importar nuestras diferencias de opiniones y a pesar de las adversidades que se presentaron, siempre me impulsaron a culminar con mis estudios y obtener el título de Ingeniero ambiental.

A mis hermanas Mabel y Fernanda, también a mi novia y mejor amiga Mary que, junto con mis padres, son la familia que siempre confió en mí para alcanzar mis metas y que estuvo en los momentos difíciles y no dejaron que renuncie a mis metas.

Romero Anchapanta Álvaro Javier

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objeto el dimensionamiento de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), para la empresa láctea “La Esencia”, ubicada en el Cantón Pillaro, Provincia Tungurahua, ya que en la actualidad la descarga de sus efluentes provenientes de sus procesos lácteos se sitúa directamente en el alcantarillado municipal sin ningún tratamiento previo. Se inició con la medición del caudal en un rango de tres horas que conforma la primera toma a las 08:00am, la segunda toma a las 12:00pm y por último a las 15:00pm por 7 días, y se registró un caudal medio de 78.56 m³/d; a continuación, se realizó la determinación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas anteriormente recolectadas, logrando así identificar los parámetros que excedan los límites permisibles de la tabla 11, Libro VI Anexo I del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Posteriormente, se tomaron en cuenta los resultados de la caracterización de los parámetros para el dimensionamiento efectivo para la PTAR que consiste en un sistema de Cribado, Trampa de grasas, Balsa de regulación, Coagulación-Floculación, Sedimentador (tipo circular para la coagulación-floculación), Filtros Percoladores de alta carga (A y B), Sedimentador (tipo circular para los filtros percoladores), Cloración, donde encontramos una eficacia de remoción estimada de la de DBO5 en un 94.91% (3934.48 mg/l a 200 mg/l) y de sólidos en suspensión de un 80% (983.42 g a 196.68 g) de eliminación, cumpliendo así los límites permisibles de descarga de la normativa ambiental. En recomendación se sugiere que la empresa separe los sueros de los demás efluentes ya que este es el que mayor aporta de carga orgánica, además, su separación ayudaría de mejor eficiencia al sistema de tratamiento de la PTAR.

Palabras clave: PTAR, DBO, DQO, Límites permisibles, Parámetros

ABSTRACT

The purpose of this study was the sizing of a wastewater treatment plant (WWTP), for the dairy company “La Esencia”, located in the Pillaro Canton, Tungurahua Province, since currently the discharge of its effluents from Its dairy processes are located directly in the municipal sewer system without any prior treatment. It started with the flow measurement in a three-hour range that makes up the first shot at 08:00 am, the second shot at 12:00 pm and finally at 15:00 pm for 7 days, and an average flow rate was recorded of 78.56 m³/d; next, the determination of the physical-chemical and microbiological parameters of the previously collected waters was carried out, thus identifying the parameters that exceed the permissible limits of Table 11, Book VI Annex I of the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of Environment. Subsequently, the results of the characterization of the parameters for the effective sizing for the WWTP that consisted of a screening system, fat trap, regulation raft, coagulation-flocculation, sedimentation (circular type for coagulation-flocculation) were taken into account. , High load percolating filters (A and B), Sedimentator (circular type for percolating filters), Chlorination, where we find an estimated removal efficiency of BOD5 at 94.91% (3934.48 mg / 200 mg / l) and 80% suspended solids (983.42 g to 196.68 g) of elimination, thus complying with the permissible discharge limits of environmental regulations. On recommendation it is suggested that the company separates the sera from the other effluents since this is the one that contributes the most organic load, in addition, their separation would help the WWTP treatment system better efficiency.

Keywords: PTAR, BOD, COD, Permissible limits, Parameters

Tabla de Contenido

CAPITULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II.....	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.2.1. Agua.....	4
2.2.2. Agua residual.....	5
2.2.3. Tipo de agua residual.....	5
2.2.4. Tratamientos para el agua residual.	6
2.2.5. Límites de descarga de aguas residuales al alcantarillado público.....	8
2.2.6. NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA, INEN 2176:2013.....	12
CAPÍTULO III	13
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	13
3.1. LOCALIZACIÓN.....	13
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	14
3.2.1. No experimental.	14
3.2.2. Descriptiva	14
3.2.3. Enfoque Mixto.....	14
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	14
3.3.1. Medición de caudales.....	14
3.3.2. Toma de muestras.....	15
3.3.3. Caracterización de las aguas residuales.	16
3.3.4. Diseño del sistema de tratamiento para aguas residuales	18
CAPÍTULO IV	40
4. Resultado y Discusión	40
4.1. Análisis de los resultados	40

4.1.1. Medición de Caudales.....	40
4.1.2. Caracterización de las aguas residuales	43
4.1.3. Cálculos para el diseño del sistema de tratamiento para aguas residuales.....	45
4.1.4. Resumen de los cálculos realizados.....	67
CAPÍTULO V.....	73
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1. CONCLUSIONES	73
5.2. RECOMENDACIONES	74
CAPÍTULO VI	75
6. BIBLIOGRAFÍA	75
CAPITULO VII.....	78
7. Anexos.....	78

CAPITULO I.

1.1. INTRODUCCIÓN

El incremento del desarrollo industrial del mundo y la importancia sobre la conservación de los recursos naturales ha despertado el interés en buscar métodos para el cuidado y la recuperación de las fuentes hídricas, tomando en cuenta el notable incremento del sector lácteo y por ende el incremento de los procesos industriales de la misma. Las alternativas para el mejoramiento utilizadas por las empresas no son suficientes para una correcta recuperación de la fuente hídrica. Por lo tanto, una alternativa que tienen las empresas e industrias es la implementación de una Planta de Tratamientos de Agua Residual (PTAR), para mitigar el impacto hacia el medio ambiente (Campaña, 2013).

En el Ecuador, el interés por la conservación del medio ambiente ha ido en aumento, por lo que una de las medidas que se ha tomado ha sido la implementación de Leyes, Ordenanzas y acuerdos que permitan que las personas, empresas, fábricas y demás se sometan a la regulación de sus descargas líquidas, sólidas y gaseosas (Dávalos, 2015).

“La Esencia” es una empresa láctea ubicada en el cantón Píllaro en la provincia de Tungurahua, la cual ofrece productos derivados de la leche como son quesos y yogurt, por ello la empresa se ha interesado por la implementación de una Planta De Tratamiento De Agua Residual (PTAR), con el objeto de minimizar la carga contaminante que aporta al alcantarillado público de Píllaro.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa láctea “La Esencia” cuenta con procesos de elaboración de quesos y yogurt, produciendo principalmente grandes cantidades de residuos orgánicos que contaminan al efluente hídrico, ya sea por grasas, colorantes, sueros, etc. afectando a la composición física y química del mismo. Además se suman los lavados de equipos, tuberías, tinas, tanques, bombas y pisos que contienen residuos químicos, cuya descarga de estos provoca una severa contaminación, por ende, puede ser un motivo para la aparición de vectores en la zona, que causen enfermedades a los moradores.

Estos contaminantes han puesto en consideración la búsqueda de soluciones de cómo se puede disminuir la carga contaminante, por ello se ha propuesto realizar un diseño de planta de tratamiento de agua residual.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó en la empresa láctea “La Esencia” productora de quesos y yogurt, mismos que utilizan cantidades considerables de materia prima, agua, productos químicos, conservantes, etc. en cada uno de sus procesos, ocasionando una contaminación hacia el efluente por residuos sólidos y líquidos que son descargados al sistema de alcantarillado municipal del cantón Píllaro, Provincia Tungurahua sin un tratamiento previo, con un gran impacto ambiental.

Viendo el grado de contaminación que existe al descargar el agua industrial, surge la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para disminuir la carga contaminante que se produce en el lugar. Estas aguas ya tratadas se descargarán directamente hacia el alcantarillado municipal de Píllaro para que después tengan su respectivo tratamiento en una PTAR (Planta de Aguas Residuales) municipal.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La planta nueva de tratamiento de agua residual diseñada disminuirá la carga contaminante hacia el alcantarillado municipal?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa láctea “La Esencia” ubicada en el cantón Pillaro, provincia de Tungurahua.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar el caudal de agua residual proveniente de la empresa láctea “La Esencia”
- Analizar las características físicas y químicas de las aguas residuales provenientes de la empresa.
- Proponer el sistema factible para el tratamiento efectivo del agua residual proveniente de la empresa “La Esencia”

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

Ecuador es un país donde abunda la producción ganadera, principalmente de la región Sierra (INEC, 2019). Tal es el caso de la provincia de Tungurahua, cantón Píllaro que cuenta con un gran número de fábricas de lácteos, que se han ubicado en sectores rurales permitiendo así la facilidad de obtención de la materia prima de los ganaderos del sector.

En dicho cantón se encuentra la fábrica de lácteos “La Esencia” que tiene como propietaria a la Sra. Carmela Haro. En sus primeros inicios empezó como una empresa familiar, en el año 2003, con el sueño de poder rescatar las tradiciones y costumbres de la parroquia Marcos Espinel. Es así que después de muchos años de esfuerzo, dedicación y trabajo duro se pudo salir adelante gracias a la elaboración, producción y comercialización de queso, yogurt y leche pasteurizada.

Estos productos son la alimentación de cualquier persona, puesto que los lácteos aportan un gran valor proteico, siendo la fuente principal para el desarrollo y crecimiento de los niños, además de ser indispensables para el organismo ya que aportan vitaminas A,B y E.

En la actualidad la fábrica de lácteos “La Esencia” no cuenta con estudios anteriores sobre tratamientos de las aguas residuales que se generan en el sector, por lo que sería de gran importancia la aplicación de un diseño de tratamiento de aguas residuales ya que brindará varios beneficios en cuanto a en la disminución de la contaminación.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Agua

La superficie del planeta tierra está cubierta por un 71% de agua que se encuentran los casquetes polares, ríos, mares, lagos, etc. siendo una fuente de vida para todo ser viviente.

El agua del planeta se encuentra sometida a un ciclo natural conocido como el ciclo hídrico o hidrológico, en que las aguas líquidas se evaporan por acción del sol y ascienden a la atmósfera en forma gaseosa, luego se condensan en las nubes y vuelven a precipitarse al suelo como lluvia. Este circuito es vital para la estabilidad climática y biológica del planeta (Raffino, 2019).

2.2.2. Agua residual

Aguas residuales las denominamos a todo tipo de agua que haya sido afectada de forma negativa por la acción del ser humano, así como todas aquellas aguas que se han usado en los entornos domésticos, urbanos, industriales, también en el ámbito ganadero y agrícola. De este modo nos encontramos con que las aguas residuales son las que contienen una gran carga de contaminantes ya sean sólidos o disueltos en la misma agua, (Arriols, 2018).

“La expansión de la urbanización, el desarrollo industrial y la producción agrícola y ganadera sin tener una visión ambiental ejercen un significativo impacto en los recursos hídricos en términos cuantitativos y cualitativos. La sobreexplotación de los cuerpos de agua y el deterioro en la calidad del agua son tendencias globales ya que al contaminar el recurso hídrico afectamos al medio ambiente y afecta a nosotros como seres humanos que sobrevivimos por el recurso hídrico” (Matsumoto & Sánchez Ortiz, 2016) .

2.2.3. Tipo de agua residual

El conocimiento de los tipos de agua residual es sumamente importante para conocer el origen de su procedencia y así llevar a cabo un correcto tratamiento. las aguas residuales son aguas con carga contaminante proveniente de vertidos ya sean urbanos, industriales, agrícolas y ganaderas, estas aguas se caracterizan por su composición física, química y biológica (Rodríguez, 2018).

2.2.3.1. Agua residual industrial.

Las aguas residuales industriales son generados por las actividades que las industrias producen, la diversidad de aguas residuales pueden ser muy grandes ya sea por las aguas de los procesos que se genera, por la limpieza, refrigeración, etc. ya que estos procesos pueden tener una carga contaminante muy alto y es necesario un tratamiento adecuado antes de ser vertido a un cauce (Condorchem Envitech, 2016).

2.2.3.2. Agua residual de industrias lácteas.

Para la generación de diversos productos la materia prima es la leche que es un excelente medio de cultivo para numerosos microorganismos por su elevado contenido de agua, pH casi neutro y su riqueza en alimentos para los microorganismos. Posee una gran cantidad de elementos energéticos en forma de azúcar (lactosa), grasa y citrato, además de compuestos nitrogenados, teniendo en cuenta a la variedad de productos, los métodos de producción, hace que las aguas residuales, de la industria láctea, tenga características muy variables, ya que según el producto que se elabore afecta considerablemente la carga contaminante, (Santamaría, Álvarez, Santamaría Díaz, & Zamora, 2015).

2.2.4. Tratamientos para el agua residual.

2.2.4.1. Pre-tratamiento.

a) Cribado o canal de rejillas

El cribado es el primer tratamiento que se encuentra en cualquier planta de tratamiento de aguas residuales y su principal función es la de retener partículas de mayor tamaño, siendo un dispositivo de rejillas colocadas de manera uniforme para su mejor eficiencia, (Mancipe & SIERRA, 2017).

b) Trampa de grasas

Las trampas de grasas o también llamadas interceptor de grasas están ubicadas en el punto de generación de los residuos líquidos y las alcantarillas de las industrias, lubricadoras, restaurant, etc. Este proceso ayuda a la separación y recolección de las grasas y aceites causada por los procesos realizados. La razón de acondicionar una trampa de grasas es reducir las grasas y aceites producidos, que se dirigen hacia una planta de tratamiento o alcantarillado municipal (Hidroplayas, 2016).

“Una trampa retiene por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación, el material graso. La trampa de grasa tiene 2 compartimentos, ambos separados por una rejilla de acero inoxidable encargada de no dejar pasar sólidos. En el compartimento más grande, por donde llegan los líquidos con sólidos disueltos, la grasa se separa al ser más liviana que el agua. Por el otro compartimento, va a salir el agua limpia.” (Cavimex, 2019).

c) Balsa de regulación

Existen industrias que por cuestión de la forma de fabricación de productos, jornadas de trabajo, también por el tipo de producción, etc., originan aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento con variaciones de caudal a lo largo del día, esto puede traer inconvenientes al funcionamiento de la PTAR. En el caso de las industrias que el caudal sea irregular es preciso llevar a cabo la regulación del caudal para que la futura planta trabaje en las condiciones más uniformes posibles (Rodríguez, 2016).

Entre las ventajas de la balsa de regulación podemos destacar las siguientes:

- Mejora los rendimientos de los procesos, fundamentalmente los biológicos.
- Facilita el control de la instalación.
- Aumenta la vida de las instalaciones, al trabajar en condiciones constantes.
- Facilita las operaciones y programación de los trabajos de mantenimiento.
- Permite optimizar el tamaño de la instalación.
- Evitar el sobredimensionamiento de la PTAR.

2.2.4.2. Tratamiento primario.

a) Sedimentación primaria

La principal función de un sedimentador primario es la de remover sólidos suspendidos como: aceites, grasas, material particulado, arenas, etc. que se encuentran en el efluente mediante la retención del mismo en un tiempo prolongado (Villela, 2014).

b) Coagulación

En el proceso de coagulación se adicionan reactivos químicos para que las partículas pequeñas que se encuentran en suspensión se desestabilicen favoreciendo a la floculación para así obtener partículas más complejas y estas puedan sedimentarse para después ser removidas (Dávalos, 2015).

2.2.4.3. Tratamiento secundario.

a) Filtro biológico

Los filtros biológicos utilizan un cuerpo de relleno, ocasionalmente de origen mineral como: piedras, ladrillos, carbón y en algunos casos la utilización de plásticos, donde se emplean microorganismos que se encuentran inmovilizados formando una película, ya sea de

bacterias, hongos, algas, etc. con la función de descomponer la materia orgánica del agua residual (Martínez, 2018).

2.2.4.4. Tratamiento Terciario

a) Cloración

La desinfección por cloro es un proceso empleado en los tratamientos de agua para la eliminación de bacterias y organismos patógenos, este tratamiento se emplea en la parte final de proceso de depuración, con el fin de eliminar a los microorganismos que hubiesen sobrevivido a los anteriores tratamientos, por ello se añade una sustancia oxidante (cloro o derivados del cloro), para garantizar la eliminación de bacterias, organismos patógenos y sólidos minerales y orgánicos no deseados que pueden provocar malos olores (TECPA, 2018).

2.2.5. Límites de descarga de aguas residuales al alcantarillado público

2.2.5.1. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

- Tabla 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público del LIBRO VI. DE LA CALIDAD AMBIENTAL. ANEXO1. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

Tabla N°1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancia soluble en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables		mg/l	Cero
Aluminio	A	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	5.0

Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0.1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado
Cianuro total	CN	mg/l	1.0
Cobalto total	Co	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo(ECC)	mg/l	0.1
Cloro activado	Cl	mg/l	0.5
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	D. B. O ₅	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1.0
Fósforo total	P	mg/l	15
Hierro Total	Fe	mg/l	25.0
Hidrocarburos totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10.0
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno total Kjeldahl	Ni	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0.5
Plomo	Pb	mg/l	0.5
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	5-9
Sólidos sedimentables		mg/l	20
Sólidos suspendidos totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1600
Selenio	Se	mg/l	0.5

Sulfatos	SO ₄ –	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1.0
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1.0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1.0
Compuestos orgánicos (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0.05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	mg/l	0.1
Vanadio	V	mg/l	5.0
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

- Artículo 69.- Permisos de descarga, emisiones y vertidos.- De verificar la entidad ambiental de control que el plan de manejo ambiental se ha cumplido con normalidad, extenderá el permiso de descarga, emisiones y vertidos, previo el pago de los derechos fijados para el efecto.
- Artículo 73.- Control de Calidad.- Los procedimientos de control de calidad analítica y métodos de análisis empleados en la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos, control de los procesos de tratamiento, monitoreo y vigilancia de la calidad del recurso, serán los indicados en las respectivas normas técnicas ecuatorianas o en su defecto estándares aceptados en el ámbito internacional. Los análisis se realizarán en laboratorios acreditados. Las entidades de control utilizarán, de tenerlos, sus laboratorios.
- Artículo 82.- Reporte de descargas, emisiones y vertidos.- Solamente una vez reportadas las descargas, emisiones y vertidos, se podrá obtener el permiso de la entidad ambiental de control, para efectuar éstas en el siguiente año.
- Artículo 92.- Permiso de Descargas y Emisiones.- El permiso de descargas, emisiones y vertidos es el instrumento administrativo que faculta a la actividad del regulado a realizar sus descargas al ambiente, siempre que éstas se encuentren dentro de los parámetros establecidos en las normas técnicas ambientales nacionales o las que se dictaren en el cantón y provincia en el que se encuentran esas actividades. El

permiso de descarga, emisiones y vertidos será aplicado a los cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado, al aire y al suelo.

2.2.5.2. Ley de prevención y control de la contaminación

- Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.
- Art. 7.- El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en coordinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor.
- Art. 8.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, fijarán el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen.
- Art. 9.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley.

2.2.5.3. Constitución Política de la República del Ecuador

- Art. 396.- (...) Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.
- Art. 411. (...) Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

2.2.5.4. Ley de Gestión Ambiental

- Art. 9.- Le corresponde al ministerio del ramo:
(...) j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.
- Art. 33.- Establécense como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

2.2.6. NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA, INEN 2176:2013

2.2.6.1. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestro

Esta norma establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, poluidas y aguas residuales para su caracterización.

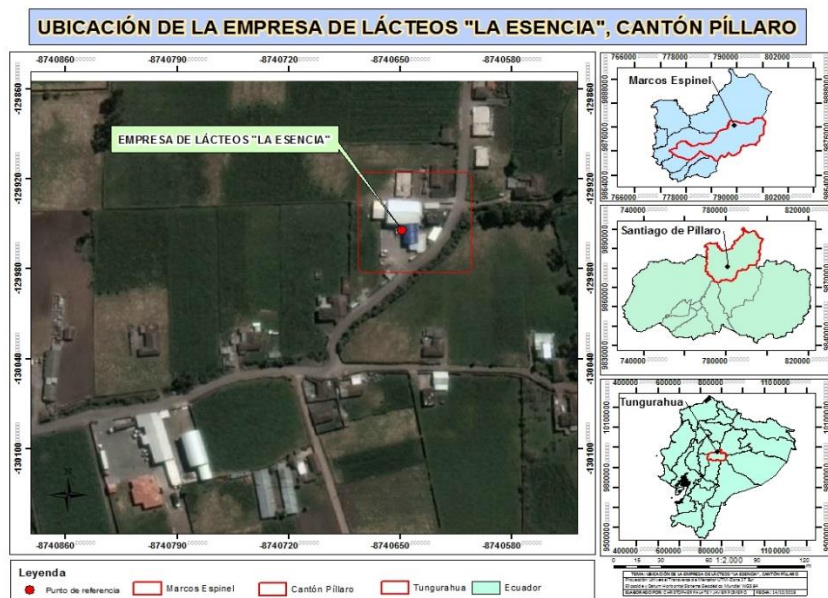
CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. LOCALIZACIÓN.

La propuesta del diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales se realizará en el barrio Rocafuerte, Parroquia Marcos Espinel, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua. La entrada se encuentra a 3 km desde el parque central de Píllaro a la izquierda en la vía Píllaro-Rocafuerte. El sector presenta un rango de suelos que va desde los muy fértiles, negros y con una capa de materia orgánica profunda que ha ayudado a que la agricultura y ganadería sea próspera en la zona, el cual se divide en diferentes clases de suelos: Inceptisoles, Mollisoles, Histosoles. La temperatura del sector varía de los 10-11°C, con una precipitación de 600-700 mm. El Cantón Santiago Píllaro posee tres pisos climáticos: Ecuatorial Mesotérmico Seco, Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo, Ecuatorial de Alta Montaña (PDOT-PILLARO, 2015).

Gráfico N°1: Localización de la zona de estudio



Fuente: Elaborado por Christopher Palate, Javier Romero

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

3.2.1. No experimental.

Esta investigación permitirá observar las particularidades y la complejidad que presenta el agua residual de la empresa láctea “La Esencia”, que a simple vista conviene realizar un análisis físico y químico del efluente proveniente.

3.2.2. Descriptiva

Esta investigación dará a conocer las características que presenta la implementación del diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la empresa láctea “La Esencia”, en cuanto a si su utilización puede servir como una opción de tratamiento para eliminar la carga contaminante.

3.2.3. Enfoque Mixto

Esta investigación se enfocará en las características fisicoquímicas del efluente proveniente de la empresa láctea “La Esencia”, dicho estudio permitirá realizar un diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para así disminuir la carga contaminante.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

3.3.1. Medición de caudales.

Para determinar el caudal del agua residual de la Empresa Láctea “La Esencia” se utilizó el método volumétrico que consiste en llenar un recipiente de un valor conocido, para ello el fluido es vertido en el recipiente, y el tiempo que se demore en llenar el recipiente será medido mediante un cronómetro.

La empresa láctea cuenta con dos descargas de agua, la primera que proviene de la elaboración de yogurt y la segunda de la elaboración de queso, en donde se utilizó en un balde plástico de 6 l para la medición del caudal, mismo que se colocó debajo de las descargas de agua de manera que reciba todo el fluido hasta llenarlo por completo y que a través de un proceso sincronizado se tomó el tiempo con un cronómetro.

La toma de los caudales se realizó 1 vez en cada horario que conforma la primera toma a las 08:00am, la segunda toma a las 12:00pm y por ultimo a las 15:00pm por 7 días.

El cálculo de medición del caudal se realizó mediante la siguiente ecuación:

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

Ecuación. 1

Dónde:

Q= Caudal volumétrico (m^3/s)

V= Volumen del líquido (m^3)

T= Tiempo del flujo (s)

3.3.2. Toma de muestras

3.3.2.1. Tipo de muestro.

Para la recolecta del agua residual de la empresa láctea “La Esencia” se utilizó el tipo de muestreo compuesto, que consiste en la agrupación de distintas muestras simples en intervalos de tiempo para estimar un promedio general de la empresa, según la NORMATIVA TECNICA ECUATORIANA, INEN 2176:2013.

3.3.2.2. Cronograma.

La recolección de muestras se realizó en botellas de vidrio (ámbar) en el transcurso de una semana con tres tomas de muestras a lo largo del día, obteniendo muestras en la mañana, al medio día y en la tarde, como se especifica a continuación, (Tabla N°2).

Tabla N°2: Cronograma de toma de muestras

Numero de muestra	Día	Mañana	Medio Día	Tarde	Código de la muestra
1	1	08:00am	12:00pm	15:00pm	D1M1
2	2	08:00am	12:00pm	15:00pm	D2M2
3	3	08:00am	12:00pm	15:00pm	D3M3
4	4	08:00am	12:00pm	15:00pm	D4M4
5	5	08:00am	12:00pm	15:00pm	D5M5
6	6	08:00am	12:00pm	15:00pm	D6M6
7	7	08:00am	12:00pm	15:00pm	D7M7

Fuente: Elaborado por el autor

3.3.2.3. *Etiquetado*

Para la identificación de las muestras se preparó una serie de datos que contiene la información más relevante:

- Nombre del responsable de las muestras.
- Fecha de recolección.
- Localización.
- Número de muestra.
- Código de la muestra.
- Nombre del laboratorio de análisis.
- Nombre del responsable del laboratorio.
- Nombre del preservante de la muestra (En caso de utilizarlo).

3.3.3. **Caracterización de las aguas residuales.**

3.3.3.1. **Parámetros físico-químicos.**

El análisis físico-químico y microbiológico de agua residual de la empresa láctea “La Esencia”, se realizó en el laboratorio de Ambiental y de Microbiológico de la Universidad Estatal Amazónica y en el Laboratorio De Investigación Análisis Ambiental “LIAA-GADMA”.

Las técnicas aplicadas en los laboratorios para los análisis de aguas residuales fueron basadas en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Métodos Estandarizados APHA - 2005 (American Public Health Association) y United States Environmental Protection Agency - USEPA; en el siguiente cuadro se especifican los parámetros evaluados:

Tabla N°3: Parámetros físico-químicos y microbiológicos

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método de determinación
Potencial de Hidrógeno	pH	-	Standard Method N° 4500 – H+B
Sólidos Totales	ST	mg/l	Standard Method N° 2540 – B

Sólidos Sedimentables	Ssed	ml/l	Standard Method N° 2540 – F
Sólidos Suspendidos Totales	SS	mg/l	Standard Method N° 2540 – D
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO	mg/l	Respirometric method N° 5210 – D
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	USEPA/ Reactor Digestion Method N° 8000
Coliformes Fecales	-	NMP/100ml	Standard Method N° 9222 D
Fósforo Total	PT	mg/l	Molybdovanadate with Acid Persulfate Digestion Method – 10127
Turbiedad	-	UNT	Standard Method N° 2130 –B
Temperatura	T	°C	Termómetro
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	Hach Method -10360
Porcentaje de saturación	P	%	Hach Method -10360
Conductividad	-	µs/cm	Hach Method - 8160
Aceites y Grasas	AyG	mg/l	APHA 3111 – B

Fuente: Elaborado por el autor

3.3.4. Diseño del sistema de tratamiento para aguas residuales

Sobre la base de la revisión bibliográfica se propone el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la empresa láctea “La Esencia”, considerando los diferentes sistemas de depuración que mejor se adapten al tipo de contaminante existente.

3.3.4.1. Cribado o canal de rejillas (*Limpieza manual*)

Datos obtenidos de (Sáenz, 2013) de su trabajo titulado “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS OASIS”

a) Consideraciones para el diseño de las rejillas (manual)

° Espaciamiento

El espacio entre las barras de las rejillas debe ser de:

15 a 50 mm para las rejillas limpiadas manualmente (Sáenz, 2013).

° Velocidad mínima de aproximación

0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente (Sáenz, 2013).

b) Fundamentos de diseño para la rejilla de limpieza manual

° Área de las rejillas

$$A = b * h$$

Ecuación. 2

Dónde:

A = área de la selección (m^2)

b = ancho del canal (m)

h = profundidad del agua (m)

° Velocidad de entrada

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación. 3

Dónde:

v = velocidad (m/s)

n = Coeficiente de Manning

R = Radio hidráulico (m)

J = Gradiente hidráulico

° **Radio hidráulico**

$$R = \frac{b \cdot h}{2(b+h)}$$

Ecuación. 4

Dónde:

R = radio hidráulico

B = ancho del canal (m)

h = profundidad (m)

° **Determinación del área entre barras**

$$A_L = \frac{Q}{V_{RL}}$$

Ecuación. 5

Dónde:

A_L = área libre entre barras (m^2)

Q = caudal (m^3/s)

V_{RL} = velocidad de entrada al área libre entre barras (m/s)

° **Área de la sección transversal del flujo**

$$A_f = A_L \left[\frac{a+t}{a} \right]$$

Ecuación. 6

Dónde:

A_f = área del flujo (m^2)

a = separación entre barras (mm)

t = espesor de las barras (mm)

° **Longitud sumergida de la rejilla**

$$d_{max} = \left[\frac{Q}{V_{RL} + b} \right] \quad \text{Ecuación. 7}$$

Dónde:

d_{max} = nivel máximo del agua

Q = caudal (m^3/s)

V_{RL} = velocidad de entrada al área libre entre barras (m/s)

b = ancho de la rejilla (m)

° **Longitud sumergida**

$$L_s = \frac{d_{max}}{\text{sen } \theta} \quad \text{Ecuación. 8}$$

L_s = longitud sumergida de la rejilla (m)

d_{max} = nivel máximo del agua

θ = grado de inclinación de las rejillas

° **Número de barras**

$$(N + 1)a + N(t) = b \quad \text{Ecuación. 9}$$

Despejando "N" se obtiene:

$$N = \frac{b-a}{b+t} \quad \text{Ecuación. 10}$$

Dónde:

N = número de barras

b = ancho de la rejilla (m)

a = separación entre barras (mm)

t = espesor de las barras (mm)

° **Cálculos de las pérdidas descarga a través de la rejilla**

$$h_L = k \left(\frac{v^2 - v'^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación. 11}$$

Dónde:

h_L = pérdida de carga, pies (m)

$k = \frac{1}{0.7}$ = coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos

V = velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la rejilla (m/s)

V' = velocidad de aproximación del fluido hacia la rejilla (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

° **Velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la rejilla**

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación. 12}$$

Dónde:

V = velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la rejilla (m/s)

Q = caudal (m^3/s)

A = área (m^2)

3.3.4.2. Trampa de grasas

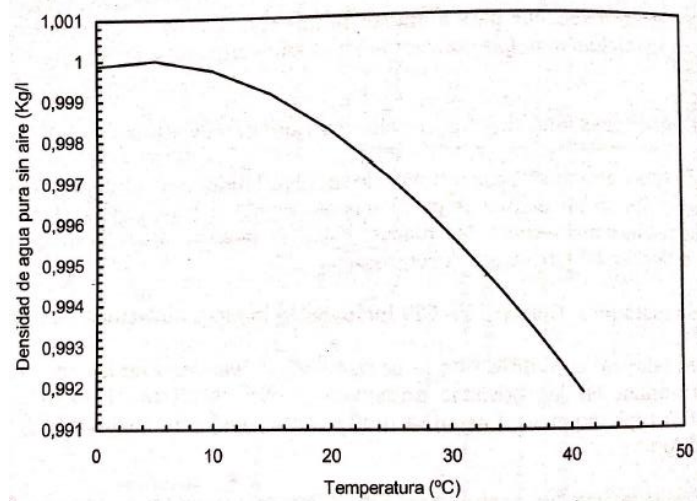
Datos obtenidos de (Isla de Juana, 2005) de su trabajo titulado “PROYECTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración.”

a) Parámetros de partida a definir previamente a la realización del calculo

° **Caudal de diseño:** caudal adoptado como base para el cálculo

° **Densidad del agua a la temperatura de diseño:** observar el gráfico N2°

Gráfico N°2: Densidad del agua



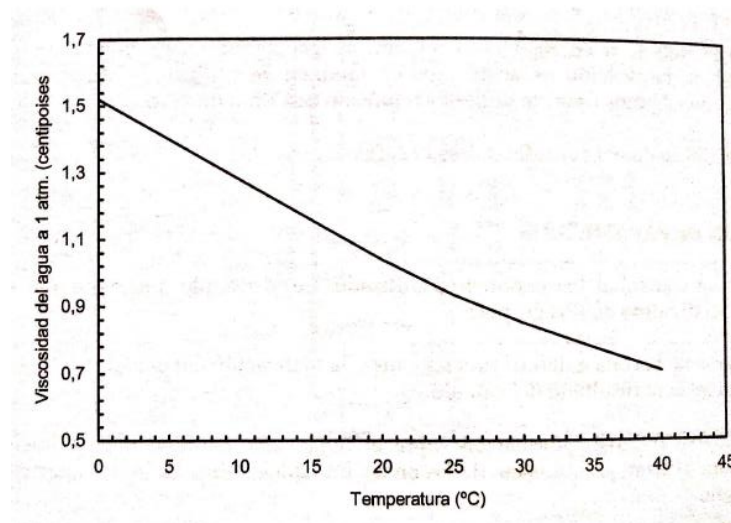
Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Densidad del aceite a la temperatura de diseño:**

Rango usual para este parámetro: 0.82 a 0.97 (kg/l)

° **Viscosidad del agua a la temperatura de diseño:** observar el gráfico N3°:

Gráfico N°3: Viscosidad del agua



Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Diámetro mínimo de partículas a separar:** diámetro de partícula a partir del cual las gotas de aceite alcanzan la placa antes de salir el fluido de entre las placas

Valor recomendado para este parámetro: 0.006 (cm)

° **Factor de turbulencia:** factor de mayoración de la superficie de placas como consecuencia del posible flujo turbulento del fluido.

Rango usual para este parámetro: 1.1 a 1.3

° **Separación perpendicular entre placas:** separación entre dos placas contiguas considerando una línea perpendicular a ambas.

Rango usual para este parámetro: 0.04 a 0.01 (m)

° **Angulo de las placas respecto al suelo:** ángulo formado entre la placa y el plano horizontal en grados sexagesimales.

Rango usual para este parámetro: 55 a 60 (sexagesimales)

° **Longitud unitaria de placa:**

Rango usual para este parámetro: 1 a 1.5 (m)

° **Anchura de placas en un separador:** anchura entre muros de un separador (luz), coincidente con la anchura del paquete de placas.

° **Espesor de las placas:**

Rango usual para este parámetro: 3 a 7 (mm)

Tabla N°4: Parámetros de partida para la trampa de grasa

N°	Parámetros de partida
L1	Caudal del diseño(m^3/h)
L2	Número de líneas
L3	Densidad del agua a la temperatura de diseño(kg/l)
L4	Densidad del aceite la temperatura de diseño(kg/l)
L5	Viscosidad del agua a la temperatura de diseño(cp)
L6	Diámetro mínimo de partículas a separar(cm)
L7	Factor de turbulencia
L8	Separación perpendicular entre placas(m)

L9	Ángulo de las placas respecto al suelo(sexagesimales)
L10	Longitud unitaria de la placa(m)
L11	Anchura de la placa en un separador(m)
L12	Espesor de las placas(mm)

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Nota:** la letra “L” representa el número de líneas en los parámetros de salida.

b) Cálculo

Tabla N°5: Cálculos para determinar la trampa de grasa

N°		Cálculos
L13	Caudal de diseño por línea(m^3/h)	$L1/L2$
L14	Velocidad ascensional del aceite(m/h)	$(99560*((L3-L4)/(L5/100))*(60/3.2808)*(L6^2)/30.4804^2)$
L15	Velocidad del fluido entre las placas(m/h)	$((-2*(L14/L7*\text{COS}((2*\text{PI}*(90-L9))/360))+((4*(L14/L7)^2*(\text{COS}((2*\text{PI}*(90-L9))/360))^2)-4*((L14/L7)^2*(\text{COS}((2*\text{PI}*L9)/3600))^2+(L14/L7)^2*(\text{COS}((2*\text{PI}*(90-L9))/360))^2-((L8^2+(L10-L8)/(\text{TAN}((2*\text{PI}*60)/360))))^2)^{0.5}/(L8/((L14/L7)*(\text{COS}((2*\text{PI}*L9)/360))))^2)^{0.5})/2$
L16	Longitud del paquete de placas en cada separador(m)	$((L13/L15)/(\text{SENO}((2*\text{PI}*L9)/360)))/L11+((((L13/15)/L11)/L8)+1)*(L12/1000))/(\text{SENO}((2*\text{PI}*L9)/360))+L10*(\text{COS}((2*\text{PI}*L9)/360))$
L17	Números de placas por separador	$((L13/L15)/L11)/L8)+1$
L18	Superficie horizontal del paquete de placas en cada separador(m^2)	$L16*L11$

Fuente: Isla de Juana, 2005.

3.3.4.3. *Balsa de regulación*

Datos obtenidos de (Isla de Juana, 2005) de su trabajo titulado “PROYECTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración.”

a) **Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo**

° **Caudal de 0 a 1 horas:** caudal medio que entra a la balsa desde las 0 horas a.m. hasta la 1 a.m.

° **Volumen mínimo de fluido en balsa:** volumen mínimo a mantener en la balsa a cualquier hora del día con el fin de asegurar una cierta homogenización del efluente. En caso de ser cero el volumen de la balsa resultante del cálculo será estrictamente el de regulación del caudal de entrada, siendo en algún momento del día el volumen acumulado nulo.

° **Número de líneas:** número de balsas en paralelo.

° **Potencia específica de mezcla:** potencia necesaria en vatios por cada metro cúbico de balsa para mezclar el agua residual contenida en la balsa. La potencia para evitar la sedimentación de SS puede ser mayor que la recomendada, especialmente en el caso de presencia de sólidos densos como arenas, por esta razón es recomendable evitar su entrada a la balsa situándola después del pre tratamiento.

Rango usual para este parámetro 4 a 8 (vatios/ m^3)

° **Aporte específico de aire para evitar septicidad:** metros cúbicos de aire que es necesario aportar por metro cúbico de balsa y hora para evitar olores, el aporte específico puede variar en función del sistema de aporte, tipo de salida y contenido de materia orgánica. Este aire puede cumplir la función de mantener la balsa mezclada de forma simultánea pero como en el caso anterior puede no ser suficiente para evitar la sedimentación de SS, especialmente en el caso de presencia de sólidos densos como arenas.

Rango usual para este parámetro 0.6 a 0.9 (m^3 aire/h.m*balsa)

Tabla N°6: Parámetros de partida para la balsa de regulación

N°	Parámetros de salida
L1	Caudal de 0 a 1 horas(m^3/h)
L2	Caudal de 1 a 2 horas(m^3/h)
L3	Caudal de 2 a 3 horas(m^3/h)
L4	Caudal de 3 a 4 horas(m^3/h)
L5	Caudal de 4 a 5 horas(m^3/h)
L6	Caudal de 5 a 6 horas(m^3/h)
L7	Caudal de 6 a 7 horas(m^3/h)
L8	Caudal de 7 a 8 horas(m^3/h)
L9	Caudal de 8 a 9 horas(m^3/h)
L10	Caudal de 9 a 10 horas(m^3/h)
L11	Caudal de 10 a 11 horas(m^3/h)
L12	Caudal de 11 a 12 horas(m^3/h)
L13	Caudal de 12 a 13 horas(m^3/h)
L14	Caudal de 13 a 14 horas(m^3/h)
L15	Caudal de 14 a 15 horas(m^3/h)
L16	Caudal de 15 a 16 horas(m^3/h)
L17	Caudal de 16 a 17 horas(m^3/h)
L18	Caudal de 17 a 18 horas(m^3/h)
L19	Caudal de 18 a 19 horas(m^3/h)
L20	Caudal de 19 a 20 horas(m^3/h)
L21	Caudal de 20 a 21 horas(m^3/h)
L22	Caudal de 21 a 22 horas(m^3/h)
L23	Caudal de 22 a 23 horas(m^3/h)
L24	Caudal de 23 a 24 horas(m^3/h)
L25	Volumen mínimo de fluido en balsa(m^3)
L26	Número de unidades
L27	Profundidad útil(m)
L28	Relación longitud/anchura
L29	Potencia específica de mezcla(vatios/ m^3)

L30	Aporte específico de aire para evitar septicidad (m^3 aire/h.m*balsa)
-----	---

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Nota:** la letra “L” representa el número de líneas en los parámetros de salida.

a) Cálculo

Tabla N°7: Cálculos para determinar la balsa de regulación

N°	Cálculos	
L31	Caudal efluente coincidente con caudal medio (m^3/h)	SUMA(L1...L2)/24
L32	Volumen acumulado cuando $Q_{entrada} > Q_{medio}$ (m^3)	L1-L32
L33	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L2-L31+L32
L34	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L35	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L36	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L37	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L38	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L39	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L40	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L41	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L42	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L43	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L44	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L45	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L46	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L47	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L48	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L49	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L50	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L51	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L52	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L53	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33

L54	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L55	Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	L3-L31+L33
L56	Volumen de balsa/s de regulación y homogenización(m^3)	MAX(L32..L55)+ L25
L57	Potencia de mezcla de la/s balsa/s(CV)	(L56*L29/1000)/ 0.736
L58	Caudal total de aire necesario para evitar septicidad(m^3/h)	(L30*L56)
L59	Volumen unitario útil(m^3)	L56/L26
L60	Longitud de cada balsa(m)	(L59*L28/L27)^ 0.5
L61	Anchura de cada balsa(m)	L60/L28

Fuente: Isla de Juana, 2005.

3.3.4.4. Coagulación-Floculación.

Datos obtenidos de (Isla de Juana, 2005) de su trabajo titulado “PROYECTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración.”

a) **Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo (Coagulación)**

° **Caudal de diseño:** caudal adoptado como base para el cálculo.

° **Caudal máximo:** caudal máximo que pueda entrar al tratamiento.

° **Dosis de coagulante:** concentración de reactivo en el agua residual es decir miligramos de reactivo dosificados por cada litro de agua a tratar.

Rango usual para este parámetro: 20 a 200 (mg/l)

° **Concentración de reactivo comercial:** concentración del reactivo tal como se adquiere del suministrador.

Valor recomendado para este parámetro (Cl_3Fe): 400 (kg/ton)

° **Densidad del reactivo comercial:**

Valor recomendado para este parámetro (Cl_3Fe): 1.417 (kg/l)

° **Autonomía de almacenamiento:** números de días para los que se quiere disponer de reactivo en cantidad suficiente, para las condiciones de diseño, en el almacén de la planta.

Valor recomendado para este parámetro: 15 (días)

° **Concentración de dosificación:** concentración a la que se dosifica el reactivo al agua residual después de su dilución si procede.

Rango usual para este parámetro ($\text{Cl}_3\text{Fe}/\text{NaOH}$): 50 a 400 (kg/ton)

° **Horas de dosificación al día:** número de horas que se va a dosificar reactivo al agua a tratar o número de horas de funcionamiento de la planta.

Tabla N°8: Parámetros de Partida para la coagulación

N°	Parámetros de partida
L1	Caudal del diseño(m^3/h)
L2	Caudal máximo(m^3/h)
L3	Dosis de coagulante(mg/l)
L4	Concentración de reactivo comercial(kg/ton)
L5	Densidad del reactivo comercial(kg/l)
L6	Autonomía de almacenamiento(días)
L7	Concentración de dosificación (kg/ton)(reactivo diluido)
L8	Horas de dosificación al día

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Nota:** la letra “L” representa el número de líneas en los parámetros de salida.

b) Cálculo

Tabla N°9: Cálculos para determinar la coagulación

N°	Cálculos	
L9	Consumo de reactivo puro a caudal de diseño(kg/h)	$L1 \cdot L3 / 1000$
L10	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(kg/h)	$L9 \cdot 1000 / L4$
L11	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(l/h)	$L10 / L5$
L12	Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	$(L9 \cdot 1000) / L7$
L13	Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal de diseño(l/h)	$L11 + (L12 - L10) / 1$
L14	Densidad aproximada del reactivo diluido(kg/l)	$L12 / L13$
L15	Consumo de reactivo puro a caudal máximo(kg/h)	$L2 \cdot L3 / 1000$
L16	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(kg/h)	$L15 \cdot 1000 / L4$
L17	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(l/h)	$L16 / L5$
L18	Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(kg/h)	$(L15 \cdot 1000) / L7$
L19	Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal máximo(l/h)	$L17 + (L18 - L16) / 1$
L20	Cantidad a almacenar de reactivo comercial(ton)	$L10 \cdot L8 \cdot L6 / 1000$

Fuente: Isla de Juana, 2005.

a) Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo (Floculación)

° **Caudal de diseño:** caudal adoptado como base para el cálculo.

° **Caudal máximo:** caudal máximo que pueda entrar al tratamiento.

° **Dosis de coagulante:** concentración de reactivo en el agua residual es decir miligramos de reactivo dosificados por cada litro de agua a tratar.

Rango usual para este parámetro: 20 a 200 (mg/l)

° **Concentración de reactivo comercial:** concentración del reactivo tal como se adquiere del suministrador.

Valor recomendado para este parámetro (Polielectrolito): 1000 (kg/ton)

° **Densidad del reactivo comercial:**

Valor recomendado para este parámetro (Polielectrolito): 1 (kg/l)

° **Autonomía de almacenamiento:** números de días para los que se quiere disponer de reactivo en cantidad suficiente, para las condiciones de diseño, en el almacén de la planta.

Valor recomendado para este parámetro: 15 (días)

° **Concentración de dosificación:** concentración a la que se dosifica el reactivo al agua residual después de su dilución si procede.

Rango usual para este parámetro (Polielectrolito): 1 a 10 (kg/ton)

° **Horas de dosificación al día:** número de horas que se va a dosificar reactivo al agua a tratar o número de horas de funcionamiento de la planta.

Tabla N°10: Parámetros de Partida para la floculación

N°	Parámetros de salida
L41	Caudal del diseño(m^3/h)
L42	Caudal máximo(m^3/h)
L43	Dosis de polielectrolito(mg/l)
L44	Concentración de reactivo comercial(kg/ton)
L45	Densidad del reactivo comercial(kg/l)
L46	Autonomía de almacenamiento(días)
L47	Concentración de dosificación (kg/ton)(reactivo diluido)
L48	Horas de dosificación al día

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Nota:** la letra “L” representa el número de líneas en los parámetros de salida.

b) Cálculo

Tabla N°11: Cálculos para determinar la floculación

N°	Cálculos
L49	Consumo de reactivo puro a caudal de diseño(kg/h) $L41 * L43 / 1000$

L50	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(kg/h)	$L49*1000/L44$
L51	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(l/h)	$L50/L45$
L52	Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	$(L49*1000)/L47$
L53	Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal de diseño(l/h)	$L51+(L52-L50)/1$
L54	Densidad aproximada del reactivo diluido(kg/l)	$L52/L53$
L55	Consumo de reactivo puro a caudal máximo(kg/h)	$L42*L43/1000$
L56	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(kg/h)	$L55*1000/L44$
L57	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(l/h)	$L56/L45$
L58	Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(kg/h)	$(L55*1000)/L47$
L59	Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(l/h)	$L57+(L58-L56)/1$
L60	Cantidad a almacenar de reactivo comercial(ton)	$L50*L48*L46/1000$

Fuente: Isla de Juana, 2005.

3.3.4.5. Sedimentador (tipo circular para la coagulación-floculación)

Datos obtenidos de (Sáenz, 2013) de su trabajo titulado “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACION DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS OASIS”

A continuación se redactan los parámetros más significativos implicados en el diseño de sedimentadores.

Tabla N12°: Información para el diseño de sedimentadores

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria		
Tiempo de retención, h	1,5 - 2,5	2
Carga de superficie, $m^3/m^2*\text{día}$		
A caudal medio	30 – 50	40
A caudal punta	80 - 120	100
Carga sobre vertedero, $m^3/m*\text{día}$	125 - 500	250
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso		
Tiempo de retención, h	1,5 - 2,5	2

Carga de superficie, $m^3/m^2 \cdot \text{día}$		
A caudal medio	24 – 32	28
A caudal punta	48 – 70	60
Carga sobre vertedero, $m^3/m \cdot \text{día}$	125 - 500	250

Fuente: Sáenz, 2013.

° **Cálculo del área del sedimentador**

$$CS = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación. 13}$$

Dónde:

CS = carga superficial ($m^3/m^2 \cdot \text{día}$)

Q = caudal (m^3/s)

A = área (m^2)

° **Altura del sedimentador**

$$h = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación. 14}$$

Dónde:

h = altura del sedimentador (m)

V = volumen del sedimentador (m^3)

° **Radio del sedimentador**

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ecuación. 15}$$

Dónde:

r = radio (m)

A = área del sedimentador (m^2)

$\pi = 3.1416$

° **Diámetro del sedimentador**

$$\theta = 2 * r \quad \text{Ecuación. 16}$$

Dónde:

θ = diámetro del sedimentador (m^2)

r = radio (m^2)

° **Tiempo de retención hidráulico**

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación. 17}$$

Dónde:

Tr = Tiempo de retención hidráulico (h)

V = volumen del sedimentador (m^3)

Q = caudal (m^3/s)

3.3.4.6. Filtro percolador de alta carga (A y B)

Datos obtenidos de “National Research Council of USA” para el diseño de dos filtros percoladores en serie debido a la alta carga orgánica que presenta.

a) Filtro percolador A

° **Porcentaje de remoción requerido (E_2)**

Los porcentajes de DBO de entrada y de salida se obtienen con un estimado a cuanto deseamos bajar la concentración de DBO en el primer filtro

$$E_2 = \frac{DBO_5 \text{ entrada} - DBO_5 \text{ salida}}{DBO_5 \text{ entrada}} * 100 \quad \text{Ecuación. 18}$$

Dónde:

E_2 = porcentaje de remoción

$DBO_5 \text{ entrada}$ = concentración de DBO que ingresa

$DBO_5\text{salida}$ = concentración de DBO que sale

Nota: Para determinar el $DBO_5\text{entrada}$ se realiza un promedio general de los resultados obtenidos y se multiplica por el porcentaje de remoción restante (porcentaje de remoción 70%, del cual se multiplica por el restante = 30%):

$$DBO_5\text{entrada} = p_{\text{medio}} * 0,3 \quad \text{Ecuación. 19}$$

° **Carga de DBO total (F_1DBO)**

$$F_1DBO = Q * \text{Concentración de DBO} \quad \text{Ecuación. 20}$$

Dónde:

F_1DBO = carga de DBO total

Q = caudal (m^3/d)

Concentración de DBO = concentración de DBO que ingresa

° **Calculo del volumen del filtro percolador**

Se utiliza la ecuación desarrollada por la National Research Council of USA, en donde se toma en cuenta una posible recirculación (Rf_1) de carga alta debido a la gran cantidad de DBO.

$$E_2 = \frac{100}{1+0.44 \left(\frac{F_1BOD}{V_1 * Rf_1}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación. 21}$$

Dónde:

E_2 = porcentaje de remoción

F_1DBO = carga de DBO total

Rf_1 = factor de recirculación, dato obtenido de (National Research Council of USA) donde nos indica el rango de estimación de 3 a 8 para las aguas residuales fuertes.

V_1 = volumen del equipo (m^3)

° Cálculo del área del filtro

$$A = \frac{V_1}{a} \quad \text{Ecuación. 22}$$

Dónde:

A = área del filtro (m^2)

V_1 = volumen del equipo (m^3)

a = altura del filtro (m), dato puesto a criterio del autor

° Diámetro del filtro

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ecuación. 23}$$

Dónde:

d = diámetro del filtro (m)

A = área del filtro (m^2)

$\pi = 3.1416$

° Volumen del relleno

El material de relleno filtrante será de polietileno de tipo Biopack de $100 m^2 \times m^3$, el cual se ubica a una altura de 0.5m por debajo de la altura total del filtro.

$$Vr = A * a \quad \text{Ecuación. 24}$$

Vr = volumen del relleno (m^3)

A = área del filtro (m^2)

a = altura del material de relleno (m), dato puesto a criterio del autor (restando los 0.5m)

b) Filtro Percolador B

° Porcentaje de remoción requerido (E_3)

Los porcentajes de DBO de entrada y de salida es un estimado de cuanto deseamos reducir la concentración de DBO en el segundo filtro para que esta cumpla con la legislación establecida.

Se toma en cuenta la “Ecuación. 18”

° Carga del DBO total ($F_2 DBO$)

Se toma en cuenta la “Ecuación. 20”

° Cálculo del volumen del filtro percolador

Se utiliza la ecuación desarrollada National Research Council of USA, en donde se toma en cuenta una posible recirculación (Rf_2) de carga alta debido a la gran cantidad de DBO.

$$E_3 = \frac{100}{\left[\frac{(1+0.44)}{(1-E_2)} \right] \left(\frac{F_2 DBO}{V_2 * Rf_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación. 24}$$

Dónde:

E_3 = porcentaje de remoción

$F_2 DBO$ = carga de DBO total

RF_2 = factor de recirculación, dato obtenido de (National Research Council of USA) donde nos indica el rango de estimación de 3 a 8 para las aguas residuales fuertes.

V_2 = volumen del equipo (m^3)

° Cálculo del área del filtro

Se toma en cuenta la “Ecuación. 22”

° Diámetro del filtro

Se toma en cuenta la “Ecuación. 23”

° Volumen del relleno

Se toma en cuenta la “Ecuación. 24”

3.3.4.7. *Sedimentador (circular)*

Una vez obtenido los resultados de los filtros percoladores se procede a dimensionar un segundo sedimentador para la biomasa que se desprende de los filtros percoladores

Para el cálculo del sedimentador se toma en cuenta las mismas formulas ya planteadas anteriormente que van desde la “Ecuación. 13” hasta la “Ecuación. 17”

3.3.4.8. *Cloración*

Datos obtenidos de (Isla de Juana, 2005) de su trabajo titulado “PROYECTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración.”

a) **Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo**

° **Caudal de diseño:** caudal adoptado como base para el cálculo.

° **Caudal máximo:** caudal máximo que puede entrar al tratamiento.

° **Dosis de cloro:** miligramos de cloro puro (Cl₂) a dosificar por cada litro de agua residual.

Rango usual para este parámetro: 4 a 15 (mg/l)

° **Tiempo contacto a caudal máximo:** tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo.

Rango usual para este parámetro: 15 a 30 (min)

° **Profundidad útil:** profundidad útil sin considerar el resguardo.

° **Relación longitud/anchura de la balsa:** resultado de dividir la longitud de la balsa entre la anchura de la balsa.

Tabla N°13: Parámetros de partida para la cloración

N°	Parámetros de partida
L1	Caudal de diseño (m^3/h)
L2	Caudal máximo (m^3/h)
L3	Dosis de cloro(mg/l)
L4	Número de unidades
L5	Tiempo contacto a caudal máximo (min)
L6	Profundidad útil (m)
L7	Relación longitud/anchura de la balsa

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° **Nota:** la letra “L” representa el número de líneas en los parámetros de salida.

b) Cálculo

Tabla N°14: Cálculos para determinar la cloración

N°	Cálculos
L8	Caudal de diseño por línea (m^3/h) L1/L4
L9	Caudal máximo por línea (m^3/h) L2/L4
L10	Consumo medio de cloro (kg/d) $(L1/1000)*L3*8$
L11	Consumo punta de cloro (kg/h) $(L2/1000)*L3$
L12	Volumen unitario útil de la balsa (m^3) $(L5/60)*L9$
L13	Volumen total útil de la balsa (m^3) $L12*L4$
L14	Superficie unitaria de la balsa (m^2) $L12/L6$
L15	Longitud de la balsa (m) $(L7*L14)^{0.5}$
L16	Anchura de la balsa (m) $L14/L15$

Fuente: Isla de Juana, 2005.

CAPÍTULO IV

4. Resultado y Discusión

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Medición de Caudales

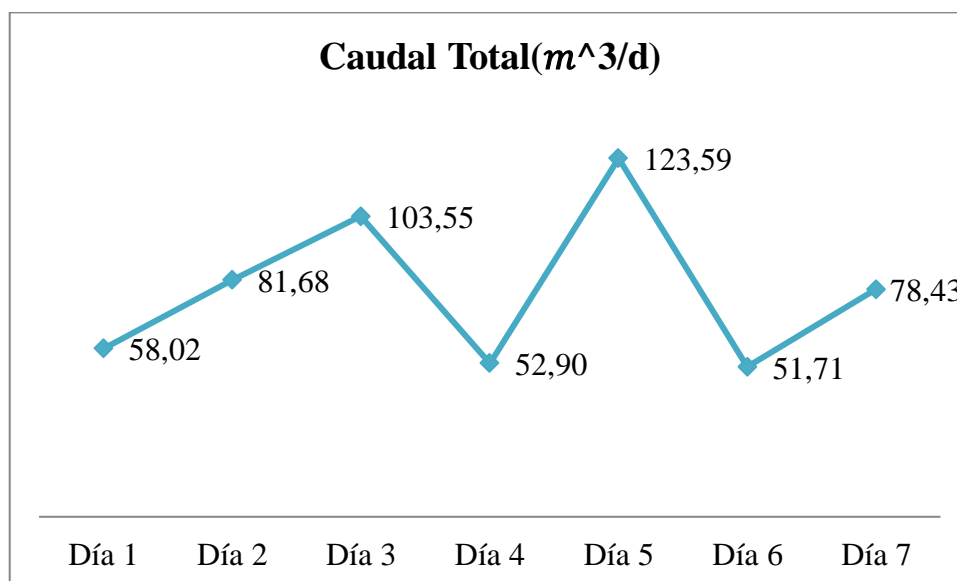
A continuación se presentan los resultado de las tomas de muestras de las dos descargas de agua de la empresa láctea “La Esencia” (tabla 15).

Tabla N°15: Resultado del caudal

	Caudal 1					Caudal 2					Caudal(m ³ /h)			
	08:00 am	12:00 pm	15:0 0pm	Total	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /d)	08:00 am	12:00 pm	15:00 pm	Total		Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /d)	Caudal total (m ³ /d)
Día 1	6,23	10,16	18,48	11,62	0,52	44,60	32,31	59,24	24,37	38,64	0,16	13,42	58,02	2,42
Día 2	22,41	13,98	13,19	16,53	0,36	31,37	8,13	9,11	13,67	10,30	0,58	50,31	81,68	3,40
Día 3	7,86	7,45	5,61	6,97	0,86	74,34	15,21	20,18	17,85	17,75	0,34	29,21	103,55	4,31
Día 4	10,56	23,74	18,21	17,50	0,34	29,62	11,53	32,14	23,12	22,26	0,27	23,28	52,90	2,20
Día 5	2,89	5,28	9,32	5,83	1,03	88,92	25,58	7,34	11,93	14,95	0,40	34,68	123,59	5,15
Día 6	18,98	9,41	15,63	14,67	0,41	35,33	18,67	41,87	34,38	31,64	0,19	16,38	51,71	2,15
Día 7	8,69	12,38	7,64	9,57	0,63	54,17	14,42	29,46	20,23	21,37	0,28	24,26	78,43	3,27
												Promedio	78,56	3,27

Fuente: Elaborado por el autor

Gráfico N°4: Variación de caudal total



Fuente: Elaborado por el autor

En la (Gráfica N°4) se presentan los valores de cada caudal en los días del muestreo. Con base a este proceso se consiguió determinar la existencia de un caudal máximo en el Día 5 con un total de $123.59 \text{ m}^3/\text{d}$ y de un caudal mínimo en el Día 6 con un total de $51.71 \text{ m}^3/\text{d}$.

Según (Falcón, 2017) en su trabajo titulado “ANÁLISIS DEL CARBÓN ACTIVADO COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA “MONTEVERDE” EN EL BARRIO ROCAFUERTE CANTÓN DE PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” indica lecturas de caudal realizadas durante ocho días en el período del 18/04/2017 hasta 26/04/2017, se obtuvo como resultado que el caudal máximo se presenta en el día 22 con un total de $4.34 \text{ m}^3/\text{d}$ y un caudal mínimo en el día 18 con un total de $2.93 \text{ m}^3/\text{d}$.

Estos resultados se deben a que las empresas trabajan con diferentes cantidades de producto dependiendo la demanda que solicite el comprador, puesto que en ciertas ocasiones la demanda de consumo es mayor y por ende aumenta la materia prima y los recursos en cada proceso, al igual que en cierta manera si la demanda es menor por ende esta tiende a disminuir.

4.1.2. Caracterización de las aguas residuales

En la presente investigación se realizó un monitoreo de 7 días laborales sobre las aguas residuales de la empresa láctea “La Esencia” para determinar los parámetros físico-químicos y microbiológicos, mismas que son conducidas hacia un sistema de alcantarillado sin un previo tratamiento. Las descargas de aguas residuales son provenientes de la elaboración de queso, yogurt y leche pasteurizada, además del lavado de los tanques, tuberías, pisos, etc. Los resultados del laboratorio se presentan a continuación.

Tabla N°16: Resultados del laboratorio

DATOS DE LABORATORIO FÍSICO – QUÍMICO								
PARÁMETROS	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Limites
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	máximo
								permisibles
Oxígeno disuelto(mg/L)	0,98	4,32	0,65	0,78	1,71	1,65	1,67	-
Potencial de hidrógeno (mg/l)	6	6	7	7	8	6	7	5-9
Temperatura °C	21	22	22	21	23	23	23	< 40
Porcentaje de saturación (%)	12,4	52,9	8,4	9,9	21,2	20,3	20,4	-
Conductividad (µs/cm)	2728	2013	4211	1960	3157	2151	1781	-
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	5720	7520	8600	7760	12800	4480	10360	-
Turbiedad (NTU)	2420	7960	1130	8920	701	604	1120	-
Fósforo total (mg/L PO₄⁻³)	123	10	56	17	96	20	57	15
DQO (mg/l)	11470	4730	7860	4760	8360	5570	7690	500
DBO (mg/l)	6182,3	2262	4367,7	2407	4494,3	3523,7	4304,4	250
Sólidos sedimentables (ml/l)	15	5	0,3	2	0,3	1,9	54	20

Sólidos suspendidos totales (mg/l)	1184	680	1060	688	828	944	1500	220
Aceites y grasas (mg/l)	523	482	436	564	406	458	414	100

Fuente: Elaborado por el autor

En la (Tabla N°16) se tiene que los valores que superan en gran cantidad los límites máximos permisibles son: DBO, DQO, Fósforo Total, Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y grasas. La DBO y DQO son muy importantes y de tomar en cuenta al momento de diseñar el sistema de tratamiento para su respectiva remoción puesto que estos evalúan el consumo de oxígeno y la carga contaminante presentes en al agua.

Además, los valores de Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes fecales demuestran que en las descargas de agua presentan una gran cantidad de materia orgánica debido al resultado de los procesos que se generan en la empresa y que por lo general es común encontrar este tipo de valores en las descargas de agua residual.

Según (Falcón, 2017) en su trabajo titulado “ANÁLISIS DEL CARBÓN ACTIVADO COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA “MONTEVERDE” EN EL BARRIO ROCAFUERTE CANTÓN DE PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” indica los resultados de los análisis físico-químicos, obteniendo que la DBO5 cuenta con un total 1139.35 mg/l, DQO con 47530 mg/l y Aceites y grasas con de 2.8 mg/l.

Estos resultados se comparan con los valores de contaminación en relación con la Tabla 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público del LIBRO VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, indicando que los valores de los parámetros obtenidos de cada empresa superan el límite máximo permisible, demostrando así que existe una contaminación por parte de las empresas.

4.1.3. Cálculos para el diseño del sistema de tratamiento para aguas residuales.

4.1.3.1. Cribado o canal de rejillas (*Limpieza manual*).

° **Área de las rejillas:** en base en la “Ecuación. 2”

$$A = b * h$$

$$A = 0.40m * 0.15m$$

$$A = 0.06m^2$$

Dónde:

A = área de la selección (m^2)

b = ancho del canal (m) = 0.40m (Sáenz, 2013).

h = profundidad del agua (m) = 0.15m (Sáenz, 2013).

° **Radio hidráulico:** en base a la “Ecuación. 4”

$$R = \frac{b * h}{2(b + h)}$$

$$R = \frac{0.40m * 0.15m}{2(0.40m + 0.15m)}$$

$$R = 0.54m$$

Dónde:

R = radio hidráulico

b = ancho del canal (m) = 0.40m

h = profundidad (m) = 0.15m

° **Velocidad de entrada:** en base a la “Ecuación. 3”

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{0.012} 0.54^{\frac{2}{3}} 0.005^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 0.08m/s$$

Dónde:

v = velocidad (m/s)

n = Coeficiente de Manning = (0.012) (Sáenz, 2013).

R = Radio hidráulico (m) = (0.54m)

J = Gradiente hidráulico = (0.005) (Sáenz, 2013).

° **Determinación del área entre barras:** en base a la “Ecuación. 5”

$$A_L = \frac{Q}{V_{RL}}$$

$$A_L = \frac{0.0009 m^3/s}{0.594m/s}$$

$$A_L = 0.0015m^2$$

Dónde:

A_L = área libre entre barras (m^2)

Q = caudal (m^3/s) = 0.0009 m^3/s

V_{RL} = velocidad de entrada al área libre entre barras (m/s) = 0.594m/s (Sáenz, 2013).

° **Área de la sección transversal del flujo:** en base a la “Ecuación. 6”

$$A_f = A_L \left[\frac{a + t}{a} \right]$$

$$A_f = 0.0015m^2 \left[\frac{20mm + 10mm}{20mm} \right]$$

$$A_f = 0.00225m^2$$

Dónde:

A_f = área del flujo (m^2)

A_L = área libre entre barras (m^2) = $0.0015m^2$

a = separación entre barras (mm) = 20mm

t = espesor de las barras (mm) = 10mm

° **Longitud sumergida de la rejilla:** en base a la “Ecuación. 7”

$$d_{max} = \left[\frac{Q}{V_{RL} + b} \right]$$

$$d_{max} = \left[\frac{0.0009 m^3/s}{0.594m/s + 0.40m} \right]$$

$$d_{max} = 0.0009m$$

Dónde:

d_{max} = nivel máximo del agua

Q = caudal (m^3/s) = $0.0009 m^3/s$

V_{RL} = velocidad de entrada al área libre entre barras (m/s) = 0.594m/s (Sáenz, 2013).

b = ancho de la rejilla (m) = 0.40m

° **Longitud sumergida:** en base a la “Ecuación.8”

$$L_s = \frac{d_{max}}{\text{sen } \theta}$$

$$L_s = \frac{0.0009\text{m}}{\text{sen } 45^\circ}$$

$$L_s = 0.0012\text{m}$$

L_s = longitud sumergida de la rejilla (m)

d_{max} = nivel máximo del agua (m) = 0.0009m

θ = grado de inclinación de las rejillas = 45° (Sáenz, 2013).

° **Número de barras:** en base a la “Ecuación. 10”

$$N = \frac{b - a}{a + t}$$

$$N = \frac{400\text{mm} - 20\text{mm}}{20\text{mm} + 10\text{mm}}$$

$$N = 13 \text{ barras}$$

Dónde:

N = número de barras

b = ancho de la rejilla (m) = 0.40m = 400mm

a = separación entre barras (mm) = 20mm

t = espesor de las barras (mm) = 10mm

° **Velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la reja:** en base a la “Ecuación. 12”

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

$$V = \frac{0.0009 \text{ m}^3/\text{s}}{0.06 \text{ m}^2}$$

$$V = 0.015 \text{ m/s}$$

Dónde:

V = velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la reja (m/s)

Q = caudal (m^3/s) = $0.0009 \text{ m}^3/\text{s}$

A = área (m^2) = 0.06 m^2

° **Cálculos de las pérdidas descarga a través de la rejilla:** en base a la “Ecuación. 11”

$$h_L = k \left(\frac{v^2 - V^2}{2g} \right)$$

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left(\frac{(0.08 \text{ m/s})^2 - \left(\frac{0.015 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_L = 0.0000072 \text{ m}$$

Dónde:

h_L = pérdida de carga, pies (m)

$k = \frac{1}{0.7}$ = coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos (Sáenz, 2013).

V = velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s) = 0.015 m^2

v = velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s) = 0.08 m/s

$g = \text{aceleración de la gravedad (m/s}^2) = 9.8 \text{ m/s}^2$

4.1.3.2. *Trampa de Grasas.*

A continuación se detalla los parámetros de partida de la trampa de grasa:

Tabla N°17: Parámetros de partida para la trampa de grasa

N°	Parámetros de partida	
L1	Caudal del diseño(m ³ /h)	3,27
L2	Numero de líneas	1
L3	Densidad del agua a la temperatura de diseño(kg/l)	0,994
L4	Densidad del aceite a la temperatura de diseño(kg/l)	0,82
L5	Viscosidad del agua a la temperatura de diseño(cp)	0,85
L6	Diámetro mínimo de partículas a separar(cm)	0,006
L7	Factor de turbulencia	1,1
L8	Separación perpendicular entre placas(m)	0,04
L9	Angulo de las placas respecto al suelo(sexagesimales)	55
L10	Longitud unitaria de la placa(m)	1
L11	Anchura de la placa en un separador(m)	3
L12	Espesor de las placas(mm)	3

Fuente: Isla de Juana, 2005.

Para el cálculo de la trampa de grasa se realizó mediante la (Tabla N°5) con la metodología de (Isla de Juana, 2005) y los resultados son los siguientes:

Tabla N°18: Cálculo de la trampa de grasas

N°	Cálculo	
L13	Caudal de diseño por línea(m ³ /h)	3,27
L14	Velocidad ascensional del aceite(m/h)	1,44
L15	Velocidad del fluido entre las placas(m/h)	17,39
L16	Longitud del paquete de placas en cada separador(m)	0,66
L17	Números de placas por separador	2,57
L18	Superficie horizontal del paquete de placas en cada separador(m ²)	1,98

Fuente: Isla de Juana, 2005.

4.1.3.3. Balsa de regulación.

A continuación se detalla los parámetros de partida de la balsa de regulación:

Tabla N°19: Parámetros de partida para la balsa de regulación

N°	Parámetros de salida	
L1	Caudal de 0 a 1 horas(m3/h)	1,68
L2	Caudal de 1 a 2 horas(m3/h)	1,69
L3	Caudal de 2 a 3 horas(m3/h)	1,78
L4	Caudal de 3 a 4 horas(m3/h)	1,73
L5	Caudal de 4 a 5 horas(m3/h)	1,73
L6	Caudal de 5 a 6 horas(m3/h)	1,69
L7	Caudal de 6 a 7 horas(m3/h)	1,71
L8	Caudal de 7 a 8 horas(m3/h)	1,76
L9	Caudal de 8 a 9 horas(m3/h)	1,62
L10	Caudal de 9 a 10 horas(m3/h)	1,60
L11	Caudal de 10 a 11 horas(m3/h)	1,61
L12	Caudal de 11 a 12 horas(m3/h)	1,69
L13	Caudal de 12 a 13 horas(m3/h)	1,64
L14	Caudal de 13 a 14 horas(m3/h)	1,66
L15	Caudal de 14 a 15 horas(m3/h)	1,63
L16	Caudal de 15 a 16 horas(m3/h)	1,69
L17	Caudal de 16 a 17 horas(m3/h)	1,01
L18	Caudal de 17 a 18 horas(m3/h)	0,99
L19	Caudal de 18 a 19 horas(m3/h)	0,93
L20	Caudal de 19 a 20 horas(m3/h)	1,05
L21	Caudal de 20 a 21 horas(m3/h)	1,11
L22	Caudal de 21 a 22 horas(m3/h)	0,98
L23	Caudal de 22 a 23 horas(m3/h)	1,05
L24	Caudal de 23 a 24 horas(m3/h)	1,03
L25	Volumen mínimo de fluido en balsa(m3)	50
L26	Número de unidades	1
L27	Profundidad útil(m)	2
L28	Relación longitud/anchura	2
L29	Potencia específica de mezcla(vatios/m3)	4
L30	Aporte específico de aire para evitar septicidad (m3aire/h.m*balsa)	0,6

Fuente: Isla de Juana, 2005.

Para el cálculo de la balsa de regulación se realizó mediante la (Tabla N°7) con la metodología de (Isla de Juana, 2005) y los resultados son los siguientes:

Tabla N°20: Cálculo de la balsa de regulación

N°	Cálculo	
L31	Caudal efluente coincidente con caudal medio (m^3/h)	1,46
L32	Volumen acumulado cuando $Q_{entrada} > Q_{medio}$ (m^3)	0,22
L33	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	0,45
L34	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	0,77
L35	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	1,04
L36	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	1,31
L37	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	1,54
L38	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	1,78
L39	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,08
L40	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,24
L41	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,38
L42	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,53
L43	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,76
L44	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,94
L45	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	3,14
L46	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	3,31
L47	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	3,54
L48	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	3,09
L49	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,62
L50	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	2,08
L51	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	1,67
L52	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	1,32
L53	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	0,84
L54	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	0,43
L55	Volumen acumulado en la hora siguiente (m^3)	0,00

L56	Volumen de balsa/s de regulación y homogenización(m^3)	53,54
L57	Potencia de mezcla de la/s balsa/s(CV)	0,29
L58	Caudal total de aire necesario para evitar septicidad(m^3/h)	32,12
L59	Volumen unitario útil(m^3)	53,54
L60	Longitud de cada balsa(m)	7,32
L61	Anchura de cada balsa(m)	3,66

Fuente: Isla de Juana, 2005.

4.1.3.4. Coagulación-Floculación.

° Dosificación de Coagulante

A continuación se detalla los parámetros de partida de la coagulación:

Tabla N°21: Parámetros de Partida para la coagulación

N°	Parámetros de salida	
L1	Caudal del diseño(m^3/h)	3,27
L2	Caudal máximo(m^3/h)	5,15
L3	Dosis de coagulante(mg/l)	20
L4	Concentración de reactivo comercial(kg/ton)	400
L5	Densidad del reactivo comercial(kg/l)	1,42
L6	Autonomía de almacenamiento(días)	15
L7	Concentración de dosificación (kg/ton)(reactivo diluido)	50
L8	Horas de dosificación al día	8

Fuente: Isla de Juana, 2005.

Para el cálculo de la coagulación se realizó mediante la (Tabla N°9) con la metodología de (Isla de Juana, 2005) y los resultados son los siguientes:

Tabla N°22: Cálculo del coagulante

N°	Cálculo	
L9	Consumo de reactivo puro a caudal de diseño(kg/h)	0,07
L10	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(kg/h)	0,16
L11	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(l/h)	0,12
L12	Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	1,31

L13	Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal de diseño(l/h)	1,26
L14	Densidad aproximada del reactivo diluido(kg/l)	1,04
L15	Consumo de reactivo puro a caudal máximo(kg/h)	0,10
L16	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(kg/h)	0,26
L17	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(l/h)	0,18
L18	Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(kg/h)	2,06
L19	Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal máximo(l/h)	1,98
L20	Cantidad a almacenar de reactivo comercial(ton)	0,02

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° Dosificación de Floculante

A continuación se detalla los parámetros de partida de la floculación:

Tabla N°23: Parámetros de Partida para la floculación

N°	Parámetros de salida	
L41	Caudal del diseño(m ³ /h)	3,27
L42	Caudal máximo(m ³ /h)	5,15
L43	Dosis de polielectrolito(mg/l)	20
L44	Concentración de reactivo comercial(kg/ton)	1000
L45	Densidad del reactivo comercial(kg/l)	1
L46	Autonomía de almacenamiento(días)	15
L47	Concentración de dosificación (kg/ton)(reactivo diluido)	1
L48	Horas de dosificación al día	8

Fuente: Isla de Juana, 2005.

Para el cálculo de la floculación se realizó mediante la (Tabla N°11) con la metodología de (Isla de Juana, 2005) y los resultados son los siguientes:

Tabla N°24: Cálculo del floculante

N°	Cálculo	
L49	Consumo de reactivo puro a caudal de diseño(kg/h)	0,07
L50	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(kg/h)	0,07
L51	Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(l/h)	0,07
L52	Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	65,40

L53	Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal de diseño(l/h)	65,40
L54	Densidad aproximada del reactivo diluido(kg/l)	1,00
L55	Consumo de reactivo puro a caudal máximo(kg/h)	0,10
L56	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(kg/h)	0,10
L57	Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(l/h)	0,10
L58	Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(kg/h)	103,00
L59	Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(l/h)	103,00
L60	Cantidad a almacenar de reactivo comercial(ton)	0,01

Fuente: Isla de Juana, 2005.

4.1.3.5. Sedimentador (tipo circular para coagulación-floculación)

° **Cálculo del área del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 13”

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

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

$$A = \frac{78.56 \text{ m}^3/d}{14 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{ día}}$$

$$A = 5.61 \text{ m}^2$$

Dónde:

CS = carga superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$) = $14 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$, dato recomendado de la “Tabla N°12” (Sáenz, 2013).

Q = caudal (m^3/d) = $78.56 \text{ m}^3/d$

A = área (m^2)

° **Altura del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 14”

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

$$h = \frac{6m^3}{5.61m^2}$$

$$h = 1.06m$$

Dónde:

h = altura del sedimentador (m)

A = área del sedimentador = $5.61m^2$

V = volumen del sedimentador (m^3) = como el caudal es de jornada completa se considera diseñar un sedimentador de $6m^3$ haciendo énfasis en el caudal que tiene la empresa.

° **Radio del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 15”

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{5.61m^2}{\pi}}$$

$$r = 1.33m$$

Dónde:

r = radio (m)

A = área del sedimentador (m^2) = $5.61m^2$

° **Diámetro del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 16”

$$\theta = 2 * r$$

$$\theta = 2 * 1.33m$$

$$\theta = 2.66m$$

Dónde:

θ = diámetro del sedimentador (m^2)

r = radio (m) = 1.33m

° **Tiempo de retención hidráulico:** en base a la “Ecuación. 17”

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

$$Tr = \frac{6m^3}{3.27m^3/h}$$

$$Tr = 1.83h$$

Dónde:

Tr = Tiempo de retención hidráulico (h)

V = volumen del sedimentador (m^3) = $6m^3$

Q = caudal (m^3/h) = $3.27m^3/h$

4.1.3.6. *Filtros percoladores de ata carga (A y B)*

a) **Filtro percolador A**

° **Porcentaje de remoción requerido:** en base a la “Ecuación. 18”

$$E_2 = \frac{DBO_5 entrada - DBO_5 salida}{DBO_5 entrada} * 100$$

$$E_2 = \frac{1180.34mg/l - 500mg/l}{1180.34mg/l} * 100$$

$$E_2 = 58\%$$

Dónde:

E_2 = porcentaje de remoción

$DBO_5 entrada =$ concentración de DBO que ingresa = 1180.34 mg/l

$DBO_5 salida =$ concentración de DBO que sale = 500 mg/l

° **Carga del DBO total:** en base a la “Ecuación. 20”

$$F_1 DBO = Q * \text{Concentración de DBO}$$

$$F_1 DBO = 78.56 m^3/d * 1180.34 mg/l * \left(\frac{1 kg}{1000000 mg}\right) * \left(\frac{1000 l}{1 m^3}\right)$$

$$F_1 DBO = 92.72 kg/d$$

Dónde:

$F_1 DBO =$ carga de DBO total

$Q =$ caudal (m^3/d) = 78.56 m^3/d

$\text{Concentración de DBO} =$ cantidad de DBO que ingresa = 1180.34 mg/l

° **Cálculo del volumen del filtro percolador:** en base a la “Ecuación. 21”

$$E_2 = \frac{100}{1 + 0.44 \left(\frac{F_{1BOD}}{V_1 * Rf_1}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Despejando V_1 tenemos:

$$V_1 = \frac{F_{1BOD}}{\left(\frac{100}{E_2} - 1\right)^{\frac{1}{2}} * Rf_1 * 0.44}$$

$$V_1 = \frac{92.72 kg/d}{\left(\frac{100}{58} - 1\right)^{\frac{1}{2}} * 3 * 0.44}$$

$$V_1 = 11.41 m^3$$

Para el resultado del volumen del filtro se sugiere un valor de $15m^3$ puesto que, para la construcción se recomienda valores con números enteros.

$$V_1 = 15m^3$$

Dónde:

E_2 = porcentaje de remoción = 58%

F_1DBO = carga de DBO total = 92.72kg/d

Rf_1 = factor de recirculación, dato obtenido de (National Research Council of USA) donde indica el rango de estimación de 3 a 8 para las aguas residuales fuertes.

V_1 = volumen del equipo (m^3)

° **Cálculo del área del filtro:** en base a la “Ecuación. 22”

$$A = \frac{V_1}{a}$$

$$A = \frac{15m^3}{2m}$$

$$A = 7.5m^2$$

Dónde:

A = área del filtro (m^2)

V_1 = volumen del equipo (m^3) = $15m^3$

a = altura del filtro (m), dato puesto a criterio del autor

° **Diámetro del filtro:** en base a la “Ecuación. 23”

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{7.5m^2}{\pi}}$$

$$d = 3.09m$$

Dónde:

d = diámetro del filtro (m)

A = área del filtro (m^2) = $7.5m^2$

$\pi = 3.1416$

° **Volumen del relleno:** en base a la “Ecuación. 24”

$$Vr = A * a$$

$$Vr = 7.5m^2 * 1.5$$

$$Vr = 11.25m^3$$

Vr = volumen del relleno (m^3)

A = área del filtro (m^2) = $7.5m^2$

a = altura del filtro (m), dato puesto a criterio del autor

b) Filtro percolador B

° **Porcentaje de remoción requerido:** en base a la “Ecuación. 18”

$$E_3 = \frac{DBO_5 entrada - DBO_5 salida}{DBO_5 entrada} * 100$$

$$E_3 = \frac{500mg/l - 200mg/l}{500mg/l} * 100$$

$$E_3 = 60\%$$

Dónde:

E_3 = porcentaje de remoción

DBO_5 entrada = cantidad de DBO que ingresa = 500 mg/l

DBO_5 salida = cantidad de DBO que sale = 200mg/l

° **Carga del DBO total:** en base a la “Ecuación. 20”

$$F_2DBO = Q * \text{Concentración de DBO}$$

$$F_2DBO = 78.56m^3/d * 500mg/l * \left(\frac{1kg}{1000000mg}\right) * \left(\frac{1000l}{1m^3}\right)$$

$$F_2DBO = 39.28 kg/d$$

Dónde:

F_2DBO = carga de DBO total

Q = caudal (m^3/d) = 78.56 m^3/d

Concentración de DBO = cantidad de DBO que ingresa = 500mg/l

° **Cálculo del volumen del filtro percolador:** en base a la “Ecuación. 21”

$$E_3 = \frac{100}{\left[\frac{(1 + 0.44)}{(1 - E_2)}\right] \left(\frac{F_2DBO}{V_2 * Rf_2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Despejando V_2 tenemos:

$$V_2 = \frac{F_2DBO}{\left(\frac{100}{E_3 \left(\frac{1 + 0.44}{1 - 0.58}\right)}\right)^2 * Rf_2}$$

$$V_2 = \frac{39.28kg/d}{\left(\frac{100}{0.6 * \left(\frac{1 + 0.44}{1 - 0.58}\right)}\right)^2 * 1.5}$$

$$V_2 = 6.21m^3$$

Para el resultado del volumen del filtro se sugiere un valor de $10m^3$ puesto que, para la construcción se recomienda valores con números enteros.

$$V_2 = 10m^3$$

Dónde:

E_3 = porcentaje de remoción = 0.6%

E_2 = porcentaje de remoción = 0.58%

F_2DBO = carga de DBO total = 39.28kg/d

RF_2 = factor de recirculación, dato obtenido de (National Research Council of USA) donde indica el rango de estimación de 3 a 8 para las aguas residuales fuertes.

V_2 = volumen del equipo (m^3)

° **Cálculo del área del filtro:** en base a la “Ecuación. 22”

$$A = \frac{V_2}{a}$$

$$A = \frac{10m^3}{2m}$$

$$A = 5m^2$$

Dónde:

A = área del filtro (m^2)

V_2 = volumen del equipo (m^3) = $10m^3$

a = altura del filtro (m), dato puesto a criterio del autor

° **Diámetro del filtro:** en base a la “Ecuación. 23”

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{5m^2}{\pi}}$$

$$d = 2.52m$$

Dónde:

d = diámetro del filtro (m)

A = área del filtro (m^2) = $5m^2$

$\pi = 3.1416$

° **Volumen del relleno:** en base a la “Ecuación. 24”

$$Vr = A * a$$

$$Vr = 5m^2 * 1.5$$

$$Vr = 7.5m^3$$

Vr = volumen del relleno (m^3)

A = área del filtro (m^2) = $3.10m^2$

a = altura del filtro (m), dato puesto a criterio del autor

4.1.3.7. Sedimentador (tipo circular para los filtros percoladores)

° **Cálculo del área del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 13”

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

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

$$A = \frac{78.56 m^3/d}{14m^3/m^2 * día}$$

$$A = 5.61m^2$$

Dónde:

CS = carga superficial ($m^3/m^2 \cdot \text{día}$) = $14 m^3/m^2 \cdot \text{día}$, dato recomendado de la “Tabla N°12” (Sáenz, 2013).

Q = caudal (m^3/d) = $78.56 m^3/d$

A = área (m^2)

° **Altura del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 14”

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

$$h = \frac{6m^3}{5.61m^2}$$

$$h = 1.06m$$

Dónde:

h = altura del sedimentador (m)

A = área del sedimentador = $5.61m^2$

V = volumen del sedimentador (m^3) = como el caudal es de jornada completa se considera diseñar un sedimentador de $6m^3$ haciendo énfasis en el caudal que tiene la empresa.

° **Radio del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 15”

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{5.61m^2}{\pi}}$$

$$r = 1.33m$$

Dónde:

r = radio (m)

A = área del sedimentador (m^2) = $5.61m^2$

° **Diámetro del sedimentador:** en base a la “Ecuación. 16”

$$\theta = 2 * r$$

$$\theta = 2 * 1.33m$$

$$\theta = 2.66m$$

Dónde:

θ = diámetro del sedimentador (m^2)

r = radio (m) = 1.33m

° **Tiempo de retención hidráulico:** en base a la “Ecuación. 18”

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

$$Tr = \frac{6m^3}{3.27m^3/h}$$

$$Tr = 1.83h$$

Dónde:

Tr = Tiempo de retención hidráulico (h)

V = volumen del sedimentador (m^3) = $6m^3$

Q = caudal (m^3/h) = $3.27m^3/h$

4.1.3.8. Cloración

A continuación se detalla los parámetros de partida de la cloración:

Tabla N°25: Parámetros de partida para la cloración

N°	Parámetros de partida	
L1	Caudal de diseño (m ³ /h)	5,14
L2	Caudal máximo (m ³ /h)	10,24
L3	Dosis de cloro(mg/l)	4
L4	Número de unidades	2
L5	Tiempo contacto a caudal máximo (min)	15
L6	Profundidad útil (m)	2
L7	Relación longitud/anchura de la balsa	1

Isla de Juana, 2005.

Para el cálculo de la cloración se realizó mediante la (Tabla N°14) con la metodología de (Isla de Juana, 2005) y los resultados son los siguientes:

Tabla N°26: Cálculo de cloración

N°	Cálculo	
L8	Caudal de diseño por línea (m^3/h)	2,57
L9	Caudal máximo por línea (m^3/h)	5,12
L10	Consumo medio de cloro (kg/d)	0,16
L11	Consumo punta de cloro (kg/h)	0,04
L12	Volumen unitario útil de la balsa (m^3)	1,28
L13	Volumen total útil de la balsa (m^3)	2,56
L14	Superficie unitaria de la balsa (m^2)	0,64
L15	Longitud de la balsa (m)	0,80
L16	Anchura de la balsa (m)	0,80

Fuente: *Isla de Juana, 2005.*

Mediante el diseño propuesto de una planta de tratamiento de agua residual para la empresa láctea “La Esencia”, que conforma de un sistema de Cribado, Trampa de grasas, Balsa de regulación, Coagulación-Floculación, Sedimentador (tipo circular para la coagulación-floculación), Filtros percoladores de alta carga (A y B), Sedimentador (tipo circular para los filtros percoladores), Clarificación, nos indica según los ejercicios realizados para el diseño de la planta de tratamiento un porcentaje de remoción de DBO₅ del 94.91 % (3934.48 mg/L a 200 mg/L) y de sólidos en suspensión de un 80 % (983.42 g a 196.68 g) de eliminación, dado estos resultados es acorde a los límites permisibles según la Tabla 11: Límites de

descarga al sistema de alcantarillado público del LIBRO VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

Según (Coello, 2018), en su trabajo titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA PLANTA PROCESADORA ‘LÁCTEOS ORIENTE DEL ECUADOR’, UBICADA EN LA PROVINCIA PASTAZA”, nos indica que el sistema de tratamiento de agua residual, empleado por un tanque de almacenamiento, canal de entrada, rejillas, trampa de grasas, filtro lento de grava y arena, floculador, sedimentador, nos da un resultado de un 95.92 % de DBO5 removido (1874 mg/L a 84 mg/L) y un 97.03 % de solidos suspendidos eliminados (606 mg/L a 18 mg/L) , que es acorde a los límite permisible establecidos en la Tabla 12. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce del LIBRO VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

4.1.4. Resumen de los cálculos realizados

4.1.4.1. Cribado o canal de rejas (Limpieza manual).

Tabla N°27: Resumen de los cálculos del cribado o canal de rejas (limpieza manual)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	m^3/s	0.0009
Área de la rejilla	A	m^2	0.06
Número de barras	N	-	13
Espacio entre barras	a	mm	20
Velocidad de aproximación del fluido a la reja	V	m/s	0.015
Perdida de carga en la rejilla	Hl	m	0.00000072

Fuente: Sáenz, 2013.

4.1.4.2. *Trampa de Grasas.*

Tabla N°28: Resumen de los cálculos de la trampa de grasa

Trampa de grasas	
Caudal de diseño por línea(m^3/h)	3,27
Velocidad ascensional del aceite(m/h)	1,44
Velocidad del fluido entre las placas(m/h)	17,39
Longitud del paquete de placas en cada separador(m)	0,66
Números de placas por separador	2,57
Superficie horizontal del paquete de placas en cada separador(m^2)	1,98

Fuente: Isla de Juana, 2005.

4.1.4.3. *Balsa de regulación.*

Tabla N°29: Resumen de los cálculos de la balsa de regulación

Balsa de regulación	
Caudal efluente coincidente con caudal medio (m^3/h)	1,46
Volumen acumulado cuando $Q_{entrada} > Q_{medio}$ (m^3)	0,22
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	0,45
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	0,77
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	1,04
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	1,31
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	1,54
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	1,78
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,08
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,24
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,38
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,53
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,76
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,94
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	3,14
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	3,31
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	3,54
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	3,09
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,62

Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	2,08
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	1,67
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	1,32
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	0,84
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	0,43
Volumen acumulado en la hora siguiente(m^3)	0,00
Volumen de balsa/s de regulación y homogenización(m^3)	53,54
Potencia de mezcla de la/s balsa/s(CV)	0,29
Caudal total de aire necesario para evitar septicidad(m^3/h)	32,12
Volumen unitario útil(m^3)	53,54
Longitud de cada balsa(m)	7,32
Anchura de cada balsa(m)	3,66

Fuente: Isla de Juana, 2005.

4.1.4.4. Coagulación-Floculación.

° Coagulación

Tabla N°30: Resumen de los cálculos de coagulación

Coagulación	
Consumo de reactivo puro a caudal de diseño(kg/h)	0,07
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(kg/h)	0,16
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(l/h)	0,12
Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	1,31
Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal de diseño(l/h)	1,26
Densidad aproximada del reactivo diluido(kg/l)	1,04
Consumo de reactivo puro a caudal máximo(kg/h)	0,10
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(kg/h)	0,26
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(l/h)	0,18
Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(kg/h)	2,06
Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal máximo(l/h)	1,98
Cantidad a almacenar de reactivo comercial(ton)	0,02

Fuente: Isla de Juana, 2005.

° Floculación

Tabla N°31: Resumen de los cálculos de floculación

Floculación	
Consumo de reactivo puro a caudal de diseño(kg/h)	0,07
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(kg/h)	0,07
Consumo de reactivo comercial a caudal de diseño(l/h)	0,07
Consumo de reactivo diluido a caudal de diseño (kg/h)	65,40
Consumo aprox. De reactivo diluido a caudal de diseño(l/h)	65,40
Densidad aproximada del reactivo diluido(kg/l)	1,00
Consumo de reactivo puro a caudal máximo(kg/h)	0,10
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(kg/h)	0,10
Consumo de reactivo comercial a caudal máximo(l/h)	0,10
Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(kg/h)	103,00
Consumo de reactivo diluido a caudal máximo(l/h)	103,00
Cantidad a almacenar de reactivo comercial(ton)	0,01

Fuente: Isla de Juana, 2005.

4.1.4.5. Sedimentador (tipo circular para coagulación-floculación)

Tabla N°32: Resumen de los cálculos del sedimentador (para coagulación-floculación)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	m^3/d	78.56
Capacidad	V	m^3	6
Área	A	m^2	5.61
Altura	H	m	1.06
Radio	R	m	1.33
Diámetro	D	m	2.66
Tiempo de retención	Tr	h	1.83

Fuente: Sáenz, 2013.

4.1.4.6. Filtros percoladores de alta carga (A y B)

° **Filtro Percolador A**

Tabla N°33: Resumen de los cálculos de Filtro Percolador A

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
<i>Porcentaje de remoción</i>	E_2	%	58
<i>Carga de DBO total</i>	$F_1 DBO$	kg/d	92.72
<i>Volumen del equipo</i>	V_1	m^3	11.41
<i>Área del filtro</i>	A	m^2	5.70
<i>Diámetro del filtro</i>	d	m	2.69
<i>Volumen del relleno</i>	V_r	m^3	8.55

Fuente: Modificado por el autor.

° **Filtro Percolador B**

Tabla N°34: Resumen de los cálculos de Filtro Percolador A

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
<i>Porcentaje de remoción</i>	E_2	%	60
<i>Carga de DBO total</i>	$F_1 DBO$	kg/d	39.28
<i>Volumen del equipo</i>	V_1	m^3	6.21
<i>Área del filtro</i>	A	m^2	3.10
<i>Diámetro del filtro</i>	D	m	1.98
<i>Volumen del relleno</i>	V_r	m^3	4.65

Fuente: Modificado por el autor.

4.1.4.7. Sedimentador (tipo circular para los filtros percoladores)

Tabla N°35: Resumen de los cálculos del sedimentador (primario-secundario)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	m^3/d	78.56
Capacidad	V	m^3	6
Área	A	m^2	5.61
Altura	H	m	1.06
Radio	R	m	1.33
Diámetro	D	m	2.66
Tiempo de retención	Tr	h	1.83

Fuente: Sáenz, 2013.

4.1.4.8. Cloración

Tabla N°36: Resumen de los cálculos de cloración

Cloración	
Caudal de diseño por línea (m^3/h)	2,57
Caudal máximo por línea (m^3/h)	5,12
Consumo medio de cloro (kg/d)	0,16
Consumo punta de cloro (kg/h)	0,04
Volumen unitario útil de la balsa (m^3)	1,28
Volumen total útil de la balsa (m^3)	2,56
Superficie unitaria de la balsa (m^2)	0,64
Longitud de la balsa (m)	0,80
Anchura de la balsa (m)	0,80

Fuente: Isla de Juana, 2005.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Conforme a la medición del caudal que aporta la empresa láctea “La Esencia” se obtuvo los resultados del caudal máximo en el Día 5 con un total de $123.59m^3/d$ y un caudal mínimo en el Día 6 con un total de $51.71m^3/d$.
- De acuerdo a la caracterización de aguas residuales en la empresa láctea “La Esencia” se determinó que los Aceites y grasas, DBO, DQO, Sólidos Suspendedos y Fosforo total (tabla N°16), exceden los límites máximos permisibles establecidos en la (tabla N°1) que se encuentra en el LIBRO VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.
- Estos resultados sirven de base para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales considerando los diferentes sistemas de depuración que mejor se adapten para la remoción del contaminante existente, de las cuales se tiene: Cribado, Trampa de grasas, Balsa de regulación, Coagulante-Floculante, Sedimentador (tipo circular para la coagulación-floculación), Filtros percoladores de alta carga (A y B), Sedimentador (tipo circular para los filtros percoladores) y Cloración.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que los sueros sean separados de los efluentes ya que este es el que mayor aportador de carga orgánica, estos sueros pueden ser elemento en la fabricación de nuevos productos, también la separación ayudaría en la disminución de carga orgánica y que el sistema de tratamiento de la PTAR sea más eficiente.
- Tener un mejor control en el aspecto de agua residual ya que genera gran cantidad de carga contaminante al medio ambiente y que se puede darse modificaciones considerables de los parámetros, para que el sistema propuesto funcione adecuadamente.
- Preparar y capacitar al personal encargado del saneamiento ambiental, haciendo énfasis en el recurso hídrico ya que es un bien valioso en la actividad humana y para la definición de medidas que reduzcan la contaminación hacia los cuerpos receptores.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arriols, E. (2018). *Ecologiaverde.com*. Obtenido de Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Campana, D. M. (2013). *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*. Obtenido de Diseño De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Industria De Productos Lácteos “Pillaro” Ubicada En El Cantón Pillaro- Tungurahua: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2636/1/236T0068.pdf>
- Cavimex. (07 de 02 de 2019). *cavimex*. Obtenido de Trampa de grasa : <https://www.cavimex.com/blog/que-es-una-trampa-de-grasa/>
- Cirelli, A.F.2012. El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, vol. 11(núm. 3), 147-170. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Condorchem Envitech. (2016). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales/#>
- Dávalos, M. G. (2015). *Escuela Politécnica Nacional. Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del cantón rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental (t.u.l.a.s)*”. Obtenido de escuela politécnica nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10534/1/cd-6234.pdf>
- Envitech, C. (s.f). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales/>
- Falcón, V. (2017). ANÁLISIS DEL CARBÓN ACTIVADO COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA “MONTEVERDE” EN EL BARRIO ROCAFUERTE CANTÓN DE PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA. (Tesis de Pregrado). *Universidad Técnica de Ambato*, Ambato, Ecuador.

- Hidroplayas. (2016). *Hidroplayas EP*. Obtenido de TRAMPA DE GRASAS: <http://hidroplayas.gob.ec/leydetransparencia/trampasdegrasa.pdf>
- INEC. (2019). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf
- López, A. V. (2013). *Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis—Provincia de Chimborazo*. 178.
- Mancipe, B. B. S., & SIERRA, J. A. (2017). *Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y desarenador) de aguas residuales*. 41.
- Martínez, E. Á. (2018). *Filtros biológicos aireados a partir de estructuras existentes en la planta para tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14793/Tesis.PDF?sequence=1>
- Matsumoto, T., & Sánchez Ortiz, I. A. (2016). Desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de São João de Iracema (Brasil). *Ingeniería*, 21(2), 176-186. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-750X2016000200005&script=sci_abstract&tlng=en
- National Research Council of USA. *NTPEL*. Obtenido de <https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/105104102/Lecture%2028.htm?fbclid=IwAR3ffiOLbqnLDbXtr4qOLYpZAvuO7RraHpx-Ow1fINcHtTLorXuEB-pFpr8>
- NORMATIVA TECNICA ECUATORIANA, INEN 2176:20132. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestro
- PDOT-PILLARO. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santiago de Píllaro. Recuperado de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1860000720001_PDyOT%20Pillaro%202014-2015_16-03-2015_22-55-27.pdf
- Raffino, M. E. (2019). *Agua*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/agua/>

- Rodríguez, C. (15 de 10 de 2018). *Tipos de aguas residuales: conoce los tipos y sus tratamientos*. Obtenido de Hidrotec: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Rodríguez, D. C. (2016). *EOI Escuela de Organización Industrial* . Obtenido de Gestión de Aguas Residuales: <https://static.eoi.es/savia/documents/texto-residual-dcr.pdf>
- ROLDAN, L. F. (2013). “*Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la planta de lácteos oasis*”. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3217/1/96T00221.pdf>
- Sáenz, L. (2013). DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACION DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS OASIS. (Tesis de Pregrado), *Riobamba, Ecuador*.
- Santamaría, E. J., Álvarez, F., Santamaría Díaz, E., & Zamora, M. (2015). Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Dialnet*, 13-26. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6583477>
- TECPA. (17 de 04 de 2018). *Consultoría ambiental, EDAR*. Obtenido de Cloración en tratamientos de aguas: <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. *Ministerio del Ambiente*. obtenido de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Vidal, G., & Chamorro, S. (2015). (PDF) Tecnologías de tratamiento de agua mediante lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores. Recuperado 15 de octubre de 2019, de ResearchGate website: https://www.researchgate.net/publication/322851806_Tecnologias_de_tratamiento_de_agua_mediante_lodos_activados_Observacion_microscopica_de_organismos_indicadores

CAPITULO VII

7. Anexos

Anexo 1. Fotografías de la medición de caudal



Fotografía N°1: Materiales utilizados en la medición de caudales



Fotografía N°2: Etiquetado de las muestras



Fotografía N°4: Muestras recolectadas

Anexo 2. Fotografías de los análisis físicos-químicos y microbiológicos del agua residual



Fotografía N°5: Solidos Sedimentables



Fotografía N°5: Multiparamétrico para pH y conductividad



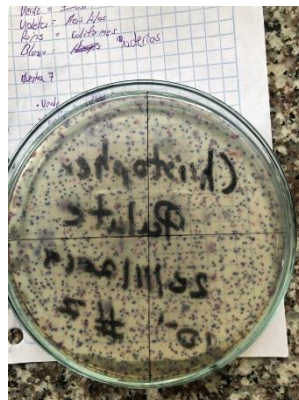
Fotografía N°6: Análisis de DQO y Fósforo



Fotografía N°6: Solidos suspendidos totales



Fotografía N°7: Incubadora del DBO



Fotografía N°8: Coliformes fecales