

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

MONOGRAFÍA

**“EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA EN
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

MARIBEL ESTEFANIA LANDI PAUCAR

maribel.landi@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. LORENA GALLARDO MS. c

lorena.gallardo@epn.edu.ec

COORDIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, Mayo 2018

DECLARACIÓN

Yo, Maribel Estefania Landi Paucar declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Mediante la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Maribel Estefania Landi Paucar

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Maribel Estefania Landi Paucar, bajo nuestra supervisión.

Ing. Lorena F. Gallardo Lastra MS.c
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. María Belén Aldás Sandoval
CODIRECTOR DE PROYECTO

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Definición del problema.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Alcance	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Industria láctea.....	6
2.1.1. Recepción de la materia prima	6
2.1.2. Pretratamiento de la leche	6
2.1.3. Desnatado y normalización de la leche.....	7
2.1.4. Tratamientos térmicos	7
2.1.5. Almacenamiento y envasado	8
2.1.6. Limpieza y desinfección de circuitos y equipos.....	8
2.2. Agua residual del procesamiento de productos lácteos líquidos en una industria láctea	9
2.2.1. Características de las aguas residuales del procesamiento de productos lácteos líquidos en una industria láctea	10
2.3. Parámetros de control de las aguas residuales de una industria láctea	10
2.3.1. Parámetros Físicos.....	11
2.3.2. Parámetros Químicos	12
2.4. Tratamiento de Aguas Residuales del procesamiento de productos lácteos líquidos en una industria láctea.....	15
2.4.1. Tratamiento Preliminar	15
2.4.2. Tratamiento Primario	16
2.4.3. Tratamiento Secundario	18
2.4.4. Tratamiento Terciario.....	19
2.4.5. Filtración en medio granular	19
2.4.6. Evaluación Técnica.....	22
2.5. Muestreo	22
2.6. Normativa ambiental vigente	23
3. METODOLOGÍA.....	25

3.1.	Descripción de las condiciones de funcionamiento y operaciones unitarias de la PTAR.....	25
3.2.	Plan de muestreo y caracterización del agua residual de la PTAR.....	29
3.2.1.	Muestreo	29
3.2.2.	Caracterización física y química de las aguas residuales de la industria láctea.....	33
3.3.	Verificación del cumplimiento de los resultados obtenidos de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR con la normativa ambiental vigente.....	35
3.4.	Evaluación de la eficiencia	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1.	Descripción en general de la PTAR.....	37
4.2.	Descripción de las características y condiciones actuales de funcionamiento de las operaciones unitarias de la PTAR	41
4.2.1.	Trampa de grasas	41
4.2.2.	Tanque de homogenización.....	44
4.2.3.	Sistema de aire disuelto (DAF)	47
4.2.4.	Filtro prensa.....	50
4.2.5.	Lodos activados: Biorreactores.....	52
4.2.6.	Tanque de cloración	55
4.3.	Muestreo	57
4.3.1.	Determinación del caudal de afluente.....	57
4.3.2.	Muestreo de las unidades de tratamiento de la PTAR	58
4.4.	Caracterización físico química y comparación de resultados del afluente y efluente con la normativa ambiental.....	65
4.5.	Evaluación de la eficiencia de las unidades de tratamiento y de la PTAR en general	78
4.5.1.	Porcentaje de eficiencia de remoción en general de la PTAR.....	78
4.5.2.	Porcentaje de eficiencia de remoción de la Trampa de grasas	80
4.5.3.	Porcentaje de eficiencia de remoción del DAF.....	81
4.5.4.	Porcentaje de eficiencia de remoción del Biorreactor 1	83
4.5.5.	Porcentaje de eficiencia de remoción del Biorreactor 2	84
4.6.	Aspectos de mantenimiento	86
4.7.	Recomendaciones técnicas de mejora.....	89
5.	CONCLUSIONES.....	92

6. RECOMENDACIONES.....	94
7. BIBLIOGRAFÍA.....	95
8. ANEXOS	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos de control para aguas residuales de una industria láctea.....	10
Tabla 2. Límites máximos de descarga establecidos en la norma técnica de control de descargas NT002	24
Tabla 3. Límites máximos de descarga establecidos en el texto unificado de legislación secundaria (TULSMA)	24
Tabla 4. Formato de recolección de información de visita de identificación de componentes de la PTAR	26
Tabla 5. Criterios de evaluación de las operaciones unitarias de la PTAR en general.....	27
Tabla 6. Tabla de recolección de información y evaluación en general de la PTAR y unidades de tratamiento	28
Tabla 7. Frecuencia de muestreo y número de muestras simples en función del tiempo de operación del generador de la descarga	30
Tabla 8. Técnicas generales para la conservación de muestras para análisis físicos y químicos	32
Tabla 9. Métodos de análisis físico químicos para medición de parámetros en laboratorio	34
Tabla 10. Métodos de análisis físicos y químicos para medición de parámetros en campo	34
Tabla 11. Equipo y reactivos empleados para la determinación de parámetros en campo	34
Tabla 12. Valores de q para un nivel de confianza del 90%.....	35
Tabla 13. Características de la trampa de grasas.....	41
Tabla 14. Características del tanque de homogenización.....	44
Tabla 15. Consumo de químicos durante los meses de agosto, septiembre y octubre	46
Tabla 16. Características del sistema de aire disuelto (DAF).....	48
Tabla 17. Características filtro prensa	51
Tabla 18. Características del biorreactor 1 y 2.....	53
Tabla 19. Características del tanque de cloración	55
Tabla 20. Caudales promedios durante dos semanas del mes de septiembre del 2017	57
Tabla 21. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas en el afluente	58

Tabla 22. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida de la trampa de grasas.....	59
Tabla 23. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida del sistema DAF	60
Tabla 24. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida del biorreactor 1	60
Tabla 25. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida del biorreactor 2	61
Tabla 26. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas en el efluente	61
Tabla 27. Volumen de cada muestra simple tomada en el afluente para formar una muestra compuesta de 4 l.....	62
Tabla 28. Volumen de cada muestra simple tomada en la trampa de grasas para formar una muestra compuesta de 1 l.....	63
Tabla 29. Volumen de cada muestra simple tomada en el DAF para formar una muestra compuesta de 1 l	63
Tabla 30. Volumen de cada muestra simple tomada en el biorreactor 1 para formar una muestra compuesta de 4 l.....	64
Tabla 31. Volumen de cada muestra simple tomada en el biorreactor 2 para formar una muestra compuesta de 4 l.....	64
Tabla 32. Volumen de cada muestra simple tomada en el efluente para formar una muestra compuesta de 4 l.....	64
Tabla 33. Resultados caracterización física y química del afluente	66
Tabla 34. Caracterización física y química de las muestras de agua del efluente de la industria láctea.....	69
Tabla 35. Caracterización física y química de las muestras de agua tomadas a la salida de la trampa de grasas, DAF y 2 biorreactores	77
Tabla 36. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físicos y químicos de la PTAR en general	78
Tabla 37. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físicos y químicos en la trampa de grasas.....	80
Tabla 38. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físicos en el DAF	82
Tabla 39. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros químicos en el biorreactor 1	83
Tabla 40. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros químicos en el biorreactor 2	85
Tabla 41. Mantenimiento	87

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Actividades de procesamiento de productos lácteos líquidos y generación de agua residual	9
Figura 2. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	21
Figura 3. Puntos de muestreo_ PTAR de estudio	29
Figura 4. Medición del caudal y recolección de muestras simples para conformación de muestras compuestas.....	31
Figura 5. Diagrama de flujo de la PTAR.....	39
Figura 6. Organigrama PTAR.....	40
Figura 7. Trampa de grasas	42
Figura 8. Diseño de las planchas, limpieza manual, aberturas en los soportes y desbordamiento de agua	43
Figura 9. Tanque de homogenización	45
Figura 10. Flotación por aire disuelto (DAF)	48
Figura 11. Tubería de salida del agua.....	49
Figura 12. Tanque de espesamiento de lodos y filtro prensa	51
Figura 13. Tratamiento biológico: biorreactores	53
Figura 14. Lodo floculento acumulado en la superficie del sedimentador	54
Figura 15. Tanque de cloración.....	56
Figura 16. Acumulación de lodos en el tanque de cloración.....	56
Figura 17. DBO ₅ - Límites de descarga establecidos en las normas	71
Figura 18. DQO - Límites de descarga establecidos en las normas	72
Figura 19. Sólidos suspendidos totales- Límites de descarga establecidos en las normas	74
Figura 20. Sólidos totales - Límites de descarga establecidos en las normas	75
Figura 21. Porcentajes de eficiencia de remoción de la PTAR en general	79
Figura 22. Porcentajes de eficiencia de remoción de la trampa de grasas	81
Figura 23. Porcentajes de eficiencia de remoción del DAF	82
Figura 24. Porcentajes de eficiencia de remoción del biorreactor 1.....	84
Figura 25. Porcentajes de eficiencia de remoción del biorreactor 2.....	85

RESUMEN

El presente trabajo de titulación comprende el desarrollo de una evaluación técnica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de una industria láctea ubicada en el Cantón Quito. El propósito de la evaluación fue determinar la eficiencia de la PTAR en general, unidades de tratamiento: trampa de grasas, flotación por aire disuelto (DAF) y 2 biorreactores, además de la calidad del agua tratada en base al cumplimiento con las normas nacionales vigentes y correspondientes para posteriormente establecer recomendaciones.

De los resultados de la evaluación, se deduce que la PTAR en general alcanza altos porcentajes de eficiencia de remoción de contaminantes: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) (81,5%), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (85,4%) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) (83,5%). Sin embargo, estos porcentajes no son suficientes para que el agua tratada cumpla con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado establecidos en las normas. Se observaron fallas en el funcionamiento de ciertas unidades de tratamiento de la PTAR, tales como: trampa de grasas, DAF, filtro prensa, 2 biorreactores y tanque de cloración, que se relacionan a la falta de mantenimiento preventivo, manejo, operación empírica y que influyen en el funcionamiento óptimo de estas unidades y en los porcentajes de remoción de los parámetros analizados.

Por lo cual, se establecieron una serie de recomendaciones generales tales como: implementar programas de mantenimiento preventivo, capacitar de forma periódica a los operarios, implementar equipos esenciales de laboratorio y regular la dosis óptima de coagulante en base a pruebas de jarras. Estos al ser implementados podrán contribuir a la mejora del funcionamiento de las unidades y por ende a la calidad del efluente.

Palabras Clave: evaluación, eficiencia, caracterización, parámetros, mantenimiento.

ABSTRACT

The present project covers the development of a technical assessment of the Waste Water Treatment Plant (WWTP) of a dairy industry located in the city of Quito. The purpose of the evaluation was to determine the efficiency of the WWTP in general, its treatment units: grease trap, dissolved air flotation (DAF) and 2 bioreactors, in addition to the quality of treated water based on compliance with national current and relevant regulations in order to establish recommendations.

According to the results of the evaluation, the WWTP in general reaches high percentages of pollutants' removal efficiency: biochemical oxygen demand (BOD₅) (81.5%), chemical oxygen demand (COD) (85.4%) and total suspended solids (TSS) (83.5%). However, these percentages are not enough for the treated water to comply with discharge limits into a body of water and sewer system, according to the regulations in force. Failures in the functioning of certain treatment units of the WWTP were found, such as: grease trap, DAF, filter press, 2 bioreactors and the chlorination tank, which relate to the lack of preventive maintenance as well as to empirical operation and management. This affects directly the optimal performance of these units and the removal percentages of the parameters analyzed.

Therefore, a series of general recommendations were established, such as: to implement preventive maintenance programs, essential lab equipment, to train operators periodically, and to regulate the optimal dosage of coagulant based on jar tests. These measures may contribute to improving the units' performance and; therefore, the quality of the effluent.

Key words: evaluation, efficiency, characterization, parameters, maintenance.

NOMENCLATURA

DBO:	Demanda Biológica de Oxígeno
DAF:	Flotación por aire disuelto
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
G y A:	Grasas y Aceites
HTST:	High Temperature Short Time
NT002:	Norma Técnica para el Control de Descargas
NTK:	Nitrógeno Total Kjeldahl
pH:	Potencial de hidrógeno
PTAR:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
ST:	Sólidos Totales
TULSMA:	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente
UHT:	Ultra High Temperature

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición del problema

El agua es un recurso natural indispensable para la vida, su contaminación se ha incrementado al mismo ritmo que el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial (Romero, 2002). En Ecuador, la industria láctea forma parte importante del sector económico, lo que ha permitido fortalecer el comercio y generar fuentes de empleo directas e indirectas (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones [Pro Ecuador], 2016).

El proyecto de titulación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de una industria láctea, ubicada en el Cantón Quito, que fue construida por la empresa Hidrotecnología en el año 2012. Hasta el 2015 el manejo de la PTAR estuvo a cargo de la misma empresa, pero fue remplazada por otra empresa privada externa debido a falencias en la operación y manejo: generación de olores y presencia de vectores. La PTAR opera 16 horas al día, seis días a la semana.

La industria láctea tiene a su cargo el procesamiento de la materia prima (leche) a través de diferentes etapas. El procesamiento de la materia prima genera grandes volúmenes de agua, que, por su carga contaminante, en especial materia orgánica, no puede ser descargada directamente a los cuerpos de agua o sistema de alcantarillado, sin antes recibir un tratamiento que garantice que la calidad del agua tratada no altera las condiciones naturales del cuerpo receptor (Caballero Trujillo, Pedraza Mendoza & Rojas Cuellar, 2015; Manosalvas, 2012).

Para este fin, la industria láctea de estudio, cuenta con una PTAR, que tiene las siguientes fases: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario, la cual receipta las aguas contaminadas provenientes de las diferentes etapas de procesamiento de la materia prima, que después del tratamiento son descargadas al sistema de alcantarillado (Hidrotecnología, 2012) y cuyos parámetros de descarga deben de ser regulados para el cumplimiento con la normativa ambiental. Por tal razón, la industria al ubicarse en el Cantón Quito, está sujeta a la regularización de la Norma

Técnica para el control de descargas (NT002) y Texto Unificado de Legislación Secundaria para el Medio Ambiente (TULSMA). Actualmente se desconoce si la PTAR está funcionando con la eficiencia operacional para la que fue diseñada, debido a que no se cuenta con un registro periódico (diario) de análisis de los parámetros físicos y químicos que asegure el cumplimiento de los límites máximos permisibles de descarga del efluente, además, el consumo de coagulante no es constante, varía dependiendo de las características del afluente.

Es así, que el fin del proyecto de titulación es realizar una Evaluación Técnica de la PTAR, que implica, la caracterización de los parámetros físicos y químicos del afluente, efluentes de los procesos unitarios (trampa de grasas, flotación por aire disuelto (DAF) y 2 biorreactores aerobios) y efluente de la PTAR, identificación y descripción de las unidades de tratamiento. Mediante lo cual se determinará la eficiencia de las unidades de tratamiento y el cumplimiento o no de los límites máximos permisibles de descarga establecidos en las normas. De ser necesario, y en base a los resultados de la evaluación, se establecerán recomendaciones de mejora en el tratamiento, con el fin de cumplir con la normativa, conservar la calidad de los cuerpos receptores, beneficiar al ambiente y hacer cumplir el derecho de todos los ecuatorianos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

1.2. Justificación

La prevención de la polución de cuerpos receptores es posible si se definen técnicas y productos apropiados en todas sus etapas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. El objetivo del tratamiento de aguas residuales es proteger la salud y bienestar de los individuos que conforman el entorno (Romero, 2004).

La industria láctea se caracteriza por generar residuos líquidos con alta carga orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo y aceites y grasas. La descarga de éstos sin tratamiento previo se convierte en un foco contaminante (Caballero Trujillo, Pedraza Mendoza y Rojas Cuellar, 2015). Todo cuerpo receptor y sistema de tratamiento poseen una capacidad límite de asimilación de contaminantes, en un río, si se excede la capacidad de asimilación, éste pierde las condiciones para su uso y se convierte en un río contaminado. Así también, en un sistema de tratamiento, si excede la capacidad de asimilación de contaminantes, el sistema entrará en dificultades operacionales,

probablemente pierda su capacidad de remoción y producirá un efluente inferior en calidad al establecido para su diseño (Romero, 2004).

Es así que, la caracterización con parámetros físicos y químicos del afluente, unidades de tratamiento y efluente de la PTAR de la industria láctea, permite establecer la eficiencia del tratamiento y el nivel de cumplimiento en cuanto a concentraciones de descarga permisibles, establecidos en las normas (Romero, 2004).

A su vez, una evaluación técnica de una PTAR, permite realizar un diagnóstico de la situación estructural, calidad del efluente, identificación, descripción técnica de los procesos, tecnología, tratamientos, mantenimiento y funcionamiento de ésta. Posteriormente se evalúan los elementos identificados en la descripción técnica, teniendo en cuenta los resultados de eficiencia y calidad del agua tratada en la PTAR, para que se establezcan alternativas o recomendaciones de mejora en el tratamiento (García Cesar y Fonseca Joaquín, 2015)

Por lo expuesto, el presente proyecto busca determinar si la PTAR de la industria láctea de estudio está funcionando con la misma eficiencia operacional para la que fue diseñada.

1.3. Alcance

La evaluación técnica de la PTAR de una industria láctea ubicada en el Cantón Quito será durante un período de tres meses (agosto, septiembre y octubre de 2017). Esta se enfoca en determinar la eficiencia de la PTAR en general, unidades de tratamiento (trampa de grasas, tanque de homogenización, DAF y 2 biorreactores). La recolección de información se realizará a través de visitas a la PTAR, encuestas a sus operarios, revisión del manual de operaciones y caracterización física y química (durante dos semanas) del: afluente, trampa de grasas, DAF, 2 biorreactores y efluente.

Los resultados de la caracterización física y química del afluente y efluente serán comparados con las normas nacionales: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) y Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas

(NT002), con el fin de determinar la calidad del agua en base al cumplimiento o no con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado. Así también, la evaluación de la eficiencia de las operaciones unitarias y PTAR en general será en base al cálculo de los porcentajes de remoción de los parámetros analizados (resultados de la caracterización física y química de todos los puntos de muestreo). Los análisis de ciertos porcentajes de eficiencia de remoción serán en base a bibliografía.

De los resultados obtenidos de la evaluación técnica, de ser requerido, se establecerán recomendaciones técnicas generales de mejora en el manejo y operación de la PTAR, no se establecerán recomendaciones de diseño o rediseño del sistema de tratamiento. Las recomendaciones serán en base al criterio técnico del autor y revisión bibliográfica. Cabe mencionar que no se realizará la evaluación técnica del diseño, ni de los procesos y actividades internas de la industria láctea, ya que no se tuvo acceso a dicha información, por lo cual, los procedimientos y actividades empleadas para el procesamiento de la materia prima (leche) en general, fue en base a bibliografía.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar técnicamente la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea, mediante el análisis de eficiencia de sus unidades de tratamiento.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir las condiciones de funcionamiento y operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Caracterizar el agua residual de la industria láctea con parámetros físicos y químicos elementales del afluente y unidades de tratamiento de la PTAR, mediante un plan de muestreo.
- Evaluar la eficiencia de los procesos unitarios de la PTAR en función de los resultados de la caracterización de los parámetros físicos y químicos.

- Analizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente con los valores de descarga del afluente, procesos unitarios y efluente de la PTAR.
- Establecer recomendaciones que contribuyan a mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, de ser requerido.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Industria láctea

La producción de leche es una actividad milenaria que constituye uno de los principales sectores económicos en Ecuador. En 2014, el país contabilizó una producción total de 5.60 millones de litros de leche. Con un 75.90% de participación en la Sierra (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones [Pro Ecuador], 2016). Pichincha es considerada la provincia de mayor producción de leche del país que, por su ubicación geográfica, condiciones ecológicas y constantes lluvias, permiten mantener verdes los pastizales y llenos los cursos de agua, facilitando la crianza del ganado y la producción de leche (Vizcarra, 2015).

A continuación, se detallan los procesos que generalmente se emplean para el procesamiento de leche.

2.1.1. Recepción de la materia prima

Las plantas procesadoras de lácteos, reciben leche todos los días en las primeras horas de la mañana. Generalmente la leche ingresa a las plantas en camiones cisterna, éstos son de acero inoxidable, equipados adecuadamente para asegurar condiciones óptimas durante su transporte. Antes de que la leche sea descargada y almacenada a 4°C para su posterior tratamiento, se toman muestras de leche de cada tanquero para realizar análisis de calidad; determinación de contenido graso y proteico que garantice el cumplimiento con los criterios de higiene y calidad establecidos (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2002).

2.1.2. Pretratamiento de la leche

La leche ingresa al sistema de procesamiento y pasa por filtros que eliminarán partículas orgánicas e inorgánicas de gran tamaño. Posteriormente es enviada a una centrífuga de alta velocidad, donde se eliminan las partículas de menor tamaño y un gran número de microorganismos que no pudieron ser eliminados por los filtros. Luego pasa a un

tanque en el que se enfría hasta 4°C, para conservar las condiciones óptimas hasta el próximo proceso (Escuela Organización Industrial, 2008).

2.1.3. Desnatado y normalización de la leche

La leche pasa al proceso de desnatado, que consiste en la separación del contenido de grasa (nata), mediante centrifugas. Posteriormente, se realiza la normalización del contenido graso de la leche, es decir, se regula la cantidad de grasa y proteína de la leche desnatada para obtener un producto con el contenido de grasa deseado: leche entera (30 g/l), semidescremada (16 g/l) y descremada (0.5 g/l) (CANILEC, 2011).

2.1.4. Tratamientos térmicos

La destrucción de los microorganismos contenidos en la leche, se lleva a cabo mediante procesos térmicos, generalmente se emplean los siguientes:

Pasteurización HTST (High Temperature Short Time)

Posterior al proceso de desnatado y normalización, esta pasa al proceso de pasteurización que consiste en someter a la leche a temperaturas que oscilan entre los 78 °C durante 15 segundos, dicha acción asegura la destrucción de patógenos que puedan afectar el organismo del consumidor. Sin embargo, no se consigue destruir la totalidad de estos por su resistencia al calor, por lo cual es indispensable someter la leche al proceso de esterilización (Bonet et al. 2009).

Esterilización UHT (Ultra High Temperature)

Es un proceso tecnológico que consiste en calentar la leche a temperaturas altas (135 – 150°C) durante un tiempo muy corto (4 - 6 segundos), lo cual genera un efecto germicida. Mientras más corto sea el periodo de calentamiento la leche mantendrá las cualidades nutritivas y organolépticas (Bonet et al., 2009).

Dentro de los procesos térmicos es indispensable el uso de calor, que se cubre en su mayor parte utilizando vapor de agua el cual es generado en calderas de vapor y posteriormente se distribuye a través de tuberías a los distintos puntos (Escuela Organización Industrial, 2008).

2.1.5. Almacenamiento y envasado

Después del tratamiento, la leche se refrigera y almacena a 4°C, lo cual permite controlar la calidad del producto antes de su envasado, que es la etapa final del proceso. Para que el producto pueda conservar sus propiedades por un largo tiempo, es indispensable asegurar condiciones asépticas durante el envasado. El producto final se envasa en diferentes tipos de materiales, los más utilizados por su aporte en la conservación del producto son: cartón y Tetra Pack Brick. El primero mantendrá la leche en óptimas condiciones durante 30 días sin refrigeración, y el segundo durante 180 días (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2002).

Así también, para llevar a cabo el proceso de refrigeración de la leche procesada, es indispensable el uso de agua empleada para el enfriamiento, la cual puede ser recirculada para evitar descargas innecesarias (Escuela Organización Industrial, 2008).

2.1.6. Limpieza y desinfección de circuitos y equipos

En la industria láctea es indispensable mantener condiciones higiénicas para el procesamiento de la materia prima, lo que conlleva a emplear rigurosas operaciones de limpieza y desinfección de forma continua. Dichas operaciones generan la mayor parte del consumo de agua, energía y productos químicos, lo que resulta en un gran volumen de aguas residuales. En cada etapa de procesamiento se generan residuos semisólidos y líquidos que son retirados de los equipos e instalaciones mediante las operaciones de limpieza, agua a presión y diluciones de sosa cáustica o ácido diluido. El uso de sosa o ácido genera variaciones de pH del agua residual, que oscila entre 5 hasta 12 y variaciones de temperatura (Producción más limpia, 2002).

En el Figura 1, se muestran los procesos empleados para el procesamiento de materia prima y generación agua residual.

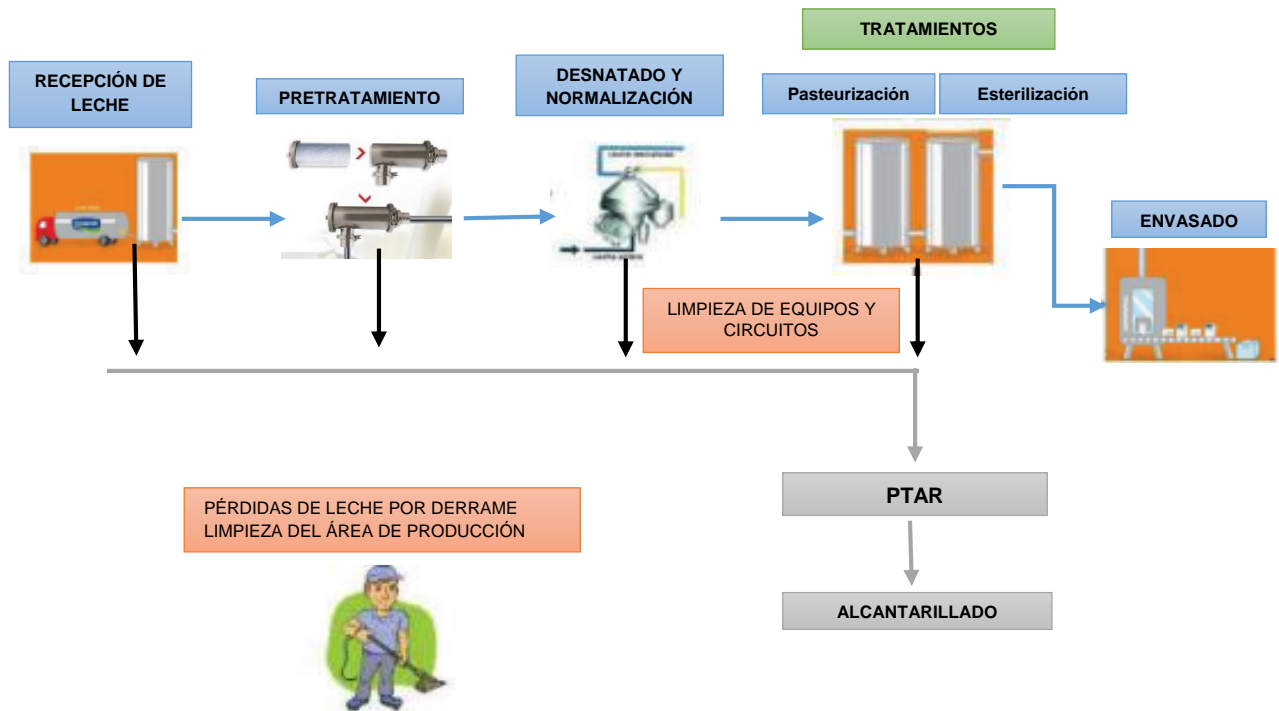


Figura 1. Actividades de procesamiento de productos lácteos líquidos y generación de agua residual

Fuente: (La Autora; Buenaño, 2015)

2.2. Agua residual del procesamiento de productos lácteos líquidos

En la etapa de procesamiento de la materia prima se emplean grandes volúmenes de agua, se estima que por cada litro de leche procesada se requiere de hasta 10 L de agua (Villena, 1995). Es así que estas aguas se componen en su mayor parte de diluciones de leche por derrames accidentales, agua del lavado; productos químicos, ácidos o alcalinos empleados para la limpieza de equipos, recipientes, pisos, etc. Por lo cual estas aguas tienden a ser neutras o poco alcalinas, teniendo material en suspensión y alto contenido en materia orgánica disuelta (DBO₅ y DQO) (Da Cámara, Hernández y Paz, 2011).

2.2.1. Características de las aguas residuales del procesamiento de productos lácteos líquidos

En general, las aguas residuales de una industria láctea presentan las siguientes características (Escuela Organización Industrial, 2008).

- Concentraciones elevadas de materia orgánica: DBO₅ y DQO
- Aceites y grasas (proceso de estandarización)
- Concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo; productos de limpieza
- Variaciones de pH; soluciones ácidas y básicas empleadas en las operaciones de limpieza
- Sólidos suspendidos y disueltos
- Variaciones de temperatura (aguas de refrigeración)

2.3. Parámetros de control de las aguas residuales de una industria láctea

El problema ambiental de este tipo de industrias es la generación de aguas residuales, que, por su volumen y carga contaminante especialmente materia orgánica, no pueden ser vertidas directamente a un cuerpo receptor sin antes recibir un tratamiento (Villena, 1995). En la Tabla 1, se muestran los parámetros físicos y químicos de control para la descarga de agua residuales de una industria láctea.

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos de control para aguas residuales de una industria láctea

Parámetros in situ	Parámetros de laboratorio
Físicos: - Temperatura	Físicos: - Sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales
Químicos: - pH - Nitratos - Nitritos	Químicos: - Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅) - Fósforo Total - Nitrógeno Total - Aceites y grasas

Fuente: Romero (2004), Texto de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA, 2015), Norma Técnica para el control de descargas NT002 (Secretaría del agua, 2016)

2.3.1. Parámetros Físicos

- **Temperatura**

La temperatura es un parámetro físico muy importante en aguas residuales porque afecta directamente las reacciones químicas, velocidades de reacción, modifica la saturación de oxígeno disuelto debido al aumento de velocidades de reacción químicas, mientras que, al ser descargado a un cuerpo de agua, éste puede afectar la actividad bacteriana, vida acuática y calidad de agua para fines benéficos (Crites y Tchobanoglous, 2000).

La medición de éste parámetro debe ser en el sitio de muestreo, con el fin de obtener resultados confiables. Así también, la temperatura se relaciona con la tasa de sedimentación de sólidos, es decir, la sedimentación será mayor en aguas cálidas que en aguas frías, por el cambio de viscosidad del agua. En general los tiempos de retención para el tratamiento biológico se reducen a mayor temperatura. La temperatura óptima para la actividad biológica oscila entre los 25°C hasta los 35°C (Romero, 2004).

- **Sólidos Totales (ST)**

Los sólidos totales de un agua incluyen dos tipos: suspendidos y disueltos y se determinan mediante evaporación de un volumen de agua conocido en un crisol, pesado con anterioridad a temperaturas entre 103 a 105°C. El incremento de peso del crisol, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales (Romero, 2002). El contenido de sólidos en el agua residual se relaciona con la cantidad de lodo que se generara en el sistema de tratamiento (Romero, 2004).

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Los sólidos suspendidos, representan la concentración de material en suspensión existente en la muestra de agua, se determina por filtración mediante un filtro de fibra de vidrio, en un crisol previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a una temperatura entre 103 a 105°C; el incremento de peso del crisol, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos. Los materiales suspendidos son indeseables por razones estéticas, pero su efecto principal sobre la calidad radica en su habilidad de proteger de los desinfectantes a los microorganismos (McGhee, 2001; Romero, 2002).

- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada a una temperatura entre 103 a 105°C (Romero, 2004). El origen de sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, del aporte de los contaminantes del agua residual. El problema radica en el uso industrial, la concentración elevada de éstos, puede causar interferencia en los procesos de fabricación o espuma. Los procesos de tratamiento varían en función de la composición; precipitación química, intercambio iónico, destilación y osmosis inversa (Rigola, 1999).

2.3.2. Parámetros Químicos

- **Aceites y grasas (A y G)**

Son compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, pueden interferir con la vida acuática, crear películas y acumulaciones de material flotante que dificultan el paso de oxígeno, causan iridiscencia, afectan la estética, así también, pueden causar problemas en el sistema de alcantarillado (Crites y Tchobanoglous, 2000). Aún en forma emulsificada pueden ser reducidas en un proceso biológico, pero altas concentraciones de este parámetro pueden afectar el rendimiento del tratamiento biológico, debido a la dificultad de la transferencia de oxígeno hacia los microorganismos. Su cuantificación es un requisito para determinar la necesidad de un

pretratamiento, eficiencia de los procesos de remoción y grado de polución (Romero, 2004).

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

La DBO es un parámetro químico que representa la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C durante cinco días de incubación, por lo que se denomina DBO₅. Este parámetro se lo utiliza para determinar la calidad de las aguas residuales y superficiales, diseñar unidades de tratamiento biológicos, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar concentraciones permisibles en fuentes receptoras. Si la carga orgánica del agua residual no se elimina antes de ser descargada, puede afectar las características del cuerpo receptor; reducir la concentración de oxígeno, que bajo estas condiciones el agua se tornará de color turbio, grisáceo con olores característicos a huevos podridos (Romero,2004).

La DBO puede ser eliminada mediante un proceso biológico, sin embargo, concentraciones elevadas de materia orgánica pueden afectar las condiciones del tratamiento biológico si no se cuenta con un sistema de aireación, que garantice las condiciones aerobias requeridas por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica (Romero, 2004).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es un parámetro químico empleado para medir la cantidad de material orgánico presente en las aguas residuales, representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable con una solución de dicromato en medio ácido y a altas temperaturas. La determinación de este parámetro es más rápida que la DBO (Melcaf y Eddy, 1995).

Los valores de DQO son mayores a la DBO₅, ya que el agente oxidante, oxidará materiales que solo lentamente son biodegradables. Éste puede ser reducido mediante un proceso biológico, sin embargo, concentraciones elevadas de este parámetro reducirán el oxígeno en el agua, y las condiciones de tratamiento biológico se verán

afectadas si no se cuenta con un sistema de aireación, que garantice las condiciones aerobias requeridas por los microorganismos para la degradación de la materia (McGhee, 2001).

- **Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)**

El nitrógeno es el componente principal de las proteínas, conjuntamente con el fósforo, es un nutriente esencial para el crecimiento de plantas y protistas, especialmente algas y bacterias (Orozco, 2005). Las formas de interés en el agua residual son nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos, por lo general se mide Nitrógeno Total Kjeldahl, importante para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos. Para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales mediante tratamientos biológicos, es indispensable conocer la concentración de nitrógeno. Es decir, cuando se exige control de eutrofización en las fuentes receptoras, la remoción de éste en el agua residual, puede ser una condición del tratamiento (Romero, 2004).

- **Fósforo Total**

El fósforo al igual que el nitrógeno, es un nutriente primordial en el crecimiento de algas y bacterias, el exceso de éste en el agua, produce el crecimiento descontrolado de algas, por lo cual la determinación del parámetro es necesaria para controlar la concentración de algas. En aguas residuales el fósforo está presente en tres formas: ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico; por ello, la mejor manera de controlar el fósforo es mediante el ensayo de fósforo total (Romero, 2002).

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Es un parámetro químico que se basa en la medición de la concentración del ion hidrógeno en el agua. Es muy importante en el tratamiento biológico ya que, aguas con pH menor de seis, favorecen el crecimiento de hongos, que resultan en el déficit del tratamiento, mientras que pH bajos ayuda a aumentar el poder bactericida del cloro. De lo cual se estipula que el pH óptimo para el tratamiento biológico varía entre 6,0 a 9,0 y para la existencia de la mayoría de la vida es de 6,5 a 8,5. Para procesos biológicos de nitrificación se recomienda valores de pH de 7,2 a 9,0 (Romero, 2004).

2.4. Tratamiento de Aguas Residuales del procesamiento de productos lácteos líquidos en una industria láctea

El objetivo del tratamiento de aguas es proteger la salud y bienestar de los miembros de la sociedad. El retorno de las aguas residuales a los ríos (cuerpos receptores), aumenta la necesidad de proveer plantas de tratamiento o mejora de éstas, con el fin de eliminar o reducir los riesgos a la salud o daños al ambiente (Romero, 2004). Una planta de tratamiento de aguas residuales, es una estructura integral en función del tratamiento del agua, abarca procesos o unidades de tratamiento cuyo nivel de complejidad depende de los objetivos de la organización (García & Fonseca, 2015).

Debido a la complejidad y al sin número de tratamientos existentes, se agrupan en: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario (Romero, 2004).

La selección del conjunto de procesos de tratamiento, se define en base a un informe de calidad del afluente, los efectos que los diversos contaminantes producen en el ambiente al cual serán descargados y normativas de regulación. Los análisis de los parámetros de control deben realizarse a lo largo de un período mínimo de un año, Así también, definirse caudales mínimos, medios y máximos (Kiely, 1999; McGhee, 2001).

Según bibliografía, los procesos de tratamiento empleados en las aguas residuales de este tipo de industrias son: Tratamiento preliminar; rejillas, trampa de grasa, tratamiento primario; flotación, tratamiento físico químico; igualación, coagulación, tratamiento secundario; Fangos activados y tratamiento terciario; filtración y desinfección (Da Cámara, Hernández y Paz, 2011; Kiely, 1999). Los procesos de tratamiento típicos se describen a continuación:

2.4.1. Tratamiento Preliminar

Es una operación física y mecánica que se encarga de separar sólidos (gruesos, arenas y aceites y grasas) del agua residual, que por su tamaño pueden alterar la operación y mantenimiento de las etapas posteriores en el tratamiento, las operaciones de separación de sólidos se pueden hacer mediante rejas o cribado, o filtros rotativos (Alianza por el Agua, 2006; Da Cámara, Hernández y Paz, 2011).

2.4.1.1. Cribado

El cribado es un proceso inicial en el sistema de tratamiento y se emplea para remover material grueso del agua, mediante el paso de ésta por una criba o rejilla. Existen cribas de diferentes materiales y formas de acuerdo al tamaño de los residuos. En el tratamiento de aguas residuales se emplean cribas gruesas, de barras o varillas de acero, con un rango de apertura de 6 a 150 mm; y rejillas finas, generalmente de tipo disco o tambor, con un rango de apertura ≤ 6 mm, con el objetivo de evitar el daño de bombas, válvulas, tuberías y equipos en los tratamientos posteriores. Las rejillas o cribas pueden ser de limpieza manual o mecánica (Metcaft y Eddy, 2004; Romero, 2004).

2.4.1.1.1. Trampa de grasas

Cámara pequeña en la que se hacen pasar las aguas residuales a través de un depósito separado por planchas o barreras con aberturas en la parte inferior, por donde el agua es obligada a salir, lo que resulta en la acumulación superficial de los componentes de menor densidad (aceites y grasas) al agua. Los componentes de menor densidad se acumulan en la superficie en forma de capa, que cada cierto tiempo se retiran de forma manual mediante un recoge hojas de piscina (Alianza por el agua, 2006).

2.4.2. Tratamiento Primario

Es un tratamiento físico o fisicoquímico, cuyo objetivo es la eliminación de sólidos en suspensión. Los tratamientos más empleados son: sedimentación, flotación y tratamiento químico.

2.4.2.1.1. Sedimentación

La sedimentación es un tratamiento físico que se emplea para remover sólidos en suspensión por acción de la gravedad de las aguas residuales. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual, puede emplearse en una o en varias unidades de tratamiento (Ramalho, 1996).

2.4.2.1.2. Flotación por aire disuelto (DAF)

La flotación es un proceso para separar sólidos o líquidos de baja densidad de una fase líquida, mediante burbujas diminutas de un gas (aire). La fase líquida se somete a un proceso de presurización a presiones entre 2 y 4 atm, en presencia de aire, y luego es despresurizado llevándolo hasta presión atmosférica para liberar el gas en exceso, de esta manera se reduce la densidad de los materiales en suspensión. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (aceites y grasas) flotan por el contacto con las burbujas de aire. Los sólidos en suspensión concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos. La separación efectiva de los líquidos y sólidos del agua residual, depende de la generación suficiente de burbujas de aire por unidad de sólidos, relación (A/S) (Romero, 2004).

2.4.2.1.3. Tratamiento químico

Son procesos donde intervine la adición de reactivos químicos, para remover sólidos en suspensión y coloidales (Alianza por el agua, 2006).

2.4.2.1.4. Homogenización

Es un proceso físico químico que consiste en amortiguar las variaciones de caudal para lograr un caudal aproximadamente constante. A su vez, también permite regular, ajustar o controlar el pH del agua mediante la adición de químicos, generalmente se emplea sosa cáustica o cal como compuestos alcalinos mientras que ácido clorhídrico o sulfúrico como compuestos ácidos y así minimizar los requerimientos posteriores de dosificación (Romero, 2002).

Los tanques de homogenización requieren generalmente mezcla, para asegurar una homogenización adecuada, prevenir asentamiento de sólidos sedimentables, reducción de DBO y controlar la generación de olores. El tanque puede ser de profundidad variable, para proveer un caudal constante, cuando el propósito es igualar la acidez, alcalinidad, pH y para optimizar el tratamiento químico o biológico posterior (Romero, 2004).

2.4.2.1.5. Coagulación Química

La coagulación química puede definirse como un proceso unitario utilizado para causar la coalescencia de partículas coloidales. Mediante la adición de sustancias químicas al agua, transfieren sus iones a las partículas que se requieren eliminar y neutraliza la carga eléctrica de éstas y las desestabiliza, lo que permite que se unan y formen grumos fácilmente sedimentables (McGhee, 2001).

El proceso remueve turbiedad, color, bacterias, algas y otros organismos, fosfatos y sustancias productoras de olores y sabores. La coagulación depende tanto del pH como del coagulante aplicado. Para cualquier agua, hay un rango de pH óptimo y concentración óptima de coagulante. Las dosis muy altas o bajas no serán efectivas y podrán producir suspensiones coloidales del coagulante mismo. Entre los químicos comúnmente utilizados en la coagulación están el sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y cal. La elección es impuesta por el costo y la eficiencia (Romero, 2002).

2.4.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo remover del agua residual materia orgánica soluble y coloidal existente después del tratamiento primario. Éste tipo de material puede ser removido mediante procesos fisicoquímicos, sin embargo, se conoce que el tratamiento secundario implica un proceso biológico (McGhee, 2001).

2.4.3.1. Tratamiento Biológico

Es un proceso que utiliza microorganismos (actividad biológica) para la remoción de contaminantes, en su mayoría materia orgánica biodegradable, coloidal o disuelta del agua residual, mediante su conversión en gases que se escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. La actividad biológica se usa también para eliminar nutrientes (fósforo y nitrógeno) del agua residual. Existen cuatro grupos principales de procesos biológicos: aerobios (presencia de oxígeno), anaerobios (ausencia de oxígeno), anóxicos (remoción de nutrientes) y combinados (Romero, 2004).

2.4.3.2. Lodos Activados

Es uno de los procesos biológicos más utilizados para la degradación de materia orgánica del agua residual, consiste en poner en contacto en un reactor el agua residual, biomasa (cultivo de microorganismos) y oxígeno disuelto, en condiciones de agitación suficientes para mantener la biomasa en suspensión y asegurar el contacto con el oxígeno disuelto (Ramirez, 2004). El aporte de oxígeno se realiza mediante aireadores mecánicos o mediante difusores. Después de un determinado tiempo de retención, la masa de fangos activos se lleva a un decantador secundario donde se separa del agua clarificada, ésta sale por la parte superior del tanque (Rigola, 1999).

Parte de los fangos sedimentados se devuelven al reactor para mantener la concentración de biomasa requerida y el resto se elimina del sistema mediante purga. Con él se regula la carga másica de trabajo del reactor al reintroducir solamente aquella cantidad de microorganismos necesaria para mantener la relación de carga específica. En caso de que la biomasa no sedimente, la separación de la misma se puede realizar sustituyendo el sedimentador secundario por una unidad de flotación (Ramirez, 2004).

2.4.4. Tratamiento Terciario

Este tipo de tratamiento tiene como fin obtener aguas tratadas con la mínima carga de contaminantes para que puedan ser reutilizadas después del tratamiento. En esta etapa se remueven sustancias disueltas: nutrientes (nitrógeno y fósforo), iones de metales pesados y compuestos orgánicos no biodegradables (compuestos fenólicos, hidrocarburos clorados, pesticidas etc.) (Villena, 1995). Los métodos de tratamiento comúnmente empleados se describen a continuación.

2.4.5. Filtración en medio granular

La filtración es una operación unitaria principal que se emplea para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes provenientes de los procesos de tratamiento biológico y químico, también se emplea para la remoción del fosforo precipitado por vía química (Metcalf y Eddy, 1995).

El diseño y la valoración de la eficiencia de los filtros se basa en:

- Variables del proceso: operación, funcionamiento, mantenimiento, etc.
- Conocer los mecanismos responsables de la eliminación de la materia particulada del agua residual.

2.4.5.1. Espesado de Fangos y Deshidratación

En las unidades que conforman un sistema de tratamiento: principalmente tratamiento biológico y sistema DAF, se generan fangos que requieren de un proceso posterior de espesado y deshidratación, antes de su traslado a una zona final para su disposición. A éstos se reduce el contenido de agua para lo cual existen varias formas, es el acondicionamiento con cal y ayudante de floculante para luego ser enviada a un filtro prensa. Los principales métodos de acondicionamiento de lodos incluyen (Rigola, 1999; Romero, 2004).

- compuestos químicos orgánicos
- compuestos químicos inorgánicos
- compuestos químicos orgánicos e inorgánicos

Por lo general, los lodos activados son acondicionados con polímeros catiónicos, mientras que para los lodos provenientes del sistema DAF (lodos químicos) por su eficiencia se emplean polímeros aniónicos (Romero, 2004).

2.4.5.2. Filtro prensa de placas

El filtro prensa de placas se emplea después del acondicionamiento de lodos con el fin de obtener un contenido de sólidos en forma de torta superior al 35%. El lodo acondicionado se bombea al filtro prensa a presiones entre 700 y 2100 KPa, forzando el paso de éste a través de un medio filtrante que deja una torta de sólidos que queda atrapada en las telas de filtración que cubren las placas huecas, el agua, resultado de la filtración drena por medio de conductos internos y se descargan por el extremo de la prensa. Después de un cierto tiempo, las placas se abren y el lodo cae por acción de la gravedad. Para la eficiencia del tratamiento se deben de asegurar dosificaciones adecuadas de cal y ayudante de floculación, limpieza apropiada del medio filtrante, mediante agua a presión y ácido (Romero, 2004).

2.4.5.3. Desinfección

El agua contiene microorganismos, algunos de los cuales causan enfermedades. En los procesos de tratamiento de aguas (primario, secundario) éstos son removidos. No obstante, permanece la posibilidad que algunos microorganismos peligrosos permanezcan en el agua incluso después de estos tratamientos (McGhee, 2002). Por esta razón el agua después de los procesos primarios y secundarios son tratados con desinfectantes para suministrar protección adicional contra la transmisión de enfermedades.

La desinfección es la destrucción de microorganismos patógenos, en el proceso las bacterias coliformes y otras especies indicadoras serán destruidas. En el tratamiento del agua, el cloro y los compuestos de cloro; hipoclorito de calcio y de sodio, son los desinfectantes más utilizados (Romero, 2002).

La **Figura 2**, se muestra el esquema general de una planta de tratamiento de aguas residuales.

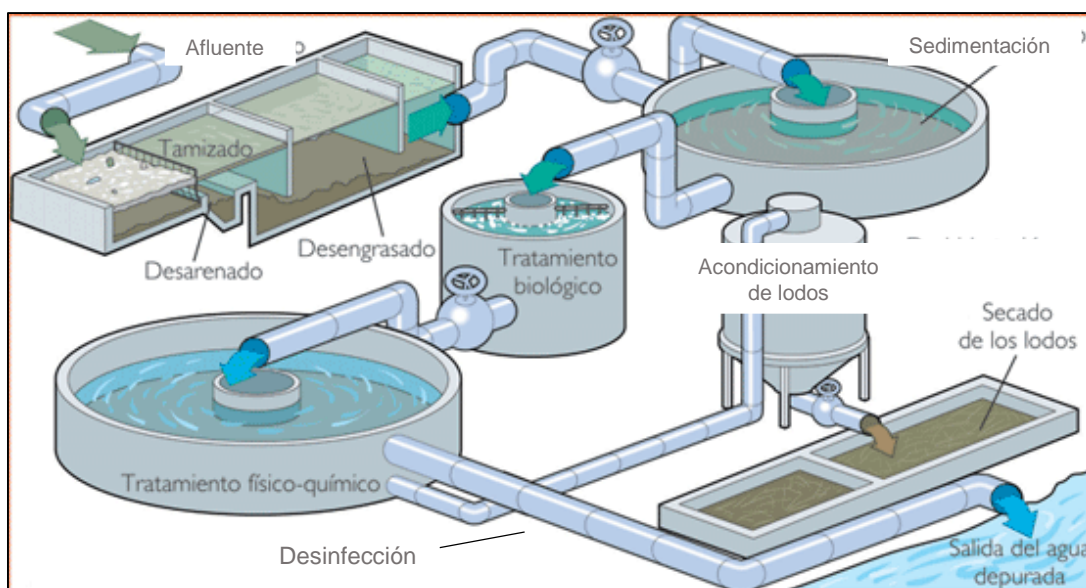


Figura 2. Planta de tratamiento de aguas residuales

Fuente: (Spena Group, 2014)

2.4.6. Evaluación Técnica

Son todos los estudios, trabajos, obras o actividades que la persona encargada (evaluador) emplea sobre el área u objeto de estudio, con el fin de evaluar la eficiencia, a través de la determinación de parámetros, identificación de procesos, manejo de recursos e infraestructura (García César y Fonseca Joaquín, 2015).

Es así, que la Evaluación Técnica de una PTAR permite realizar un diagnóstico de la situación estructural, calidad del efluente, identificación, descripción técnica de los procesos, tecnología, tratamientos, mantenimiento y funcionamiento de ésta, posteriormente se evalúan los elementos identificados en la descripción técnica, resultados de eficiencia y calidad del agua tratada, con el fin de establecer alternativas o recomendaciones de mejora en el tratamiento (García César y Fonseca Joaquín, 2015).

2.5. Muestreo

Un programa de muestreo se emplea para evaluar las características de un agua residual. Las técnicas de muestreo deben garantizar la obtención de muestras representativas, que garantice obtener resultados del caudal global del agua residual y no solamente del caudal que circula en el instante del muestreo. Para asegurar la representatividad de las muestras, se prefieren puntos de muestreo con flujo turbulento donde el agua residual esté bien mezclada; sin embargo, el sitio de muestreo debe seleccionarse de acuerdo al problema y objetivo de estudio. La frecuencia de muestreo depende de la variación del caudal, disponibilidad de recursos económicos y propósito del programa de muestreo (Romero, 2004).

Las consideraciones básicas para ejecutar con éxito un programa de muestreo son:

- Definir el objetivo del muestreo
- Revisar información existente, identificar el lugar y establecer los puntos de muestreo
- Seleccionar el tipo de muestreo, número de muestras y frecuencia de muestreo
- Caracterización física, química y microbiológica de las muestras obtenidas

Generalmente las muestras se clasifican en: muestras simples y muestras compuestas.

Muestra Puntual o Simple

Las muestras simples representan las características del agua residual en el instante de muestreo, éstas se recolectan en un lugar y tiempo determinado. En la mayoría de los casos, pueden no ser representativos para un periodo prolongado, ya que las características varían con el tiempo. Las muestras puntuales se emplean para análisis de oxígeno disuelto, cloro residual, temperatura, pH, alcalinidad, acidez, coliformes y aceites y grasas (Romero, 2004).

Muestra Compuesta

Una muestra compuesta es una mezcla de muestras simples tomadas a intervalos constantes de tiempo. La cantidad de cada muestra simple que se añade a la mezcla compuesta. La alícuota debe ser proporcional al caudal en cada instante de muestreo. Es así que, para asegurar la representatividad y detectar efectos de la descarga variable de los diferentes contaminantes se prefieren muestras compuestas (Londoño, Giraldo y Gutiérrez, 2010; Romero, 2004).

2.6. Normativa ambiental vigente

En Ecuador se han implementado leyes, ordenanzas y acuerdos que permiten que las personas, empresas, fábricas, se someta a la regulación de sus descargas líquidas, sólidas y gaseosas. El Ministerio del Ambiente y las entidades de seguimiento y control ambiental, son las encargadas de verificar el cumplimiento de las leyes ambientales, que rigen para cada una de las actividades que se desarrollan en el país. De acuerdo a la facultad legislativa otorgada por la Constitución del Ecuador dentro de su jurisdicción, ciertos gobiernos municipales han creado regulaciones ambientales y normativas propias con base en la Constitución y en la Ley de Gestión Ambiental (Buenaño, 2015; Licto, 2017).

La PTAR de estudio, por encontrarse en el Cantón Quito, está sujeta al acatamiento de la norma técnica para el control de descargas de efluentes NT002, en la que se establece los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes y del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA)-Libro VI-Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua – Tabla 8: límites de descarga al sistema de alcantarillado público y Tabla 9: límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Los límites permisibles de descarga que se establecen en las normas ambientales, se muestran en la Tabla 2 y Tabla 3 (Secretaría del Ambiente, 2016; Ministerio del Ambiente [MAE], 2015).

Tabla 2. Límites máximos de descarga establecidos en la norma técnica de control de descargas NT002

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo permisible	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/l	70	30
Demanda Biológica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	170	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	350	160
Fósforo Total	P	mg/l	15	10
Nitrógeno Total	N	mg/l	60	50
Potencial de hidrógeno	pH	----	6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	120	100
Sólidos Totales	ST	mg/l	1200	1200
Temperatura	---	°C	<40	Condición natural

Fuente: (Secretaría del Ambiente, 2016, p. 10-11)

Tabla 3. Límites máximos de descarga establecidos en el texto unificado de legislación secundaria (TULSMA)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo permisible	
			Tabla 8 Alcantarillado	Tabla 9 Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/l	70	30
Demanda Biológica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500	200
Fósforo Total	P	mg/l	15	10
Nitrógeno Total	N	mg/l	60	50
Potencial de hidrógeno	pH	----	6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600	1600
Temperatura	---	°C	<40	Condición natural

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 20-22)

3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el desarrollo de este proyecto de titulación comprendió las siguientes etapas:

- Descripción de las condiciones de funcionamiento y operaciones unitarias de la PTAR
- Plan de muestreo y caracterización física y química del agua residual de la PTAR
- Verificación del cumplimiento de los resultados obtenidos de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR con la normativa ambiental vigente
- Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes

A continuación, se describen las técnicas y herramientas empleadas para el desarrollo de cada una de las etapas.

3.1. Descripción de las condiciones de funcionamiento y operaciones unitarias de la PTAR

Se inició con una visita al lugar para visualizar e identificar los procesos, tipo de tratamiento empleado y puntos de muestreo. La información se recolectó en el formato que se muestra en la Tabla 4. No se recolectó información de las actividades internas de la industria láctea ya que no se obtuvo acceso a las instalaciones.

Tabla 4. Formato de recolección de información de visita de identificación de componentes de la PTAR

VISITA PTAR INDUSTRIA LÁCTEA – CANTÓN QUITO			
Fecha de visita		Responsable	
Visita	Planta de Tratamiento	Ubicación	Cantón Quito
Objetivo de la Visita	Identificación del tipo de tratamiento, unidades de tratamiento, equipos y funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria Láctea		
	COMPONENTES	OBSERVACIONES	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			

Así también, para el desarrollo de la evaluación y descripción del funcionamiento general y operaciones unitarias de la PTAR, se realizaron visitas, revisión del manual de operación, revisión bibliográfica y entrevistas semiestructuradas a sus operadores. Se emplearon criterios de evaluación en base a información relevante de Romero (2004). En la Tabla 5 se presentan las consideraciones establecidas para los criterios de evaluación del funcionamiento de las unidades tratamiento y de la PTAR en general.

La evaluación y recolección de la información fue en base al formato que se presenta en la Tabla 6. Las Tablas para la evaluación y recolección de la información, se presentan en el Anexo I.

Tabla 5. Criterios de evaluación de las operaciones unitarias de la PTAR en general

CRITERIO DE EVALUACIÓN	CONSIDERACIONES
NO ACEPTABLE	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de olores y vectores - Fallas en la estructura: ruptura, pérdida de agua, desgaste - No se encuentra en funcionamiento - No existe información: planos y manual - Personal sin experiencia ni certificados académicos - Existe acumulación de lodos y residuos, se retiran estos cuando hay desbordamiento del agua por taponamiento de la unidad de tratamiento - No se realiza mantenimiento: no existen programas de mantenimiento correctivo ni preventivo - No existe registro de actividades: bitácora
ACEPTABLE	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de olores momentáneos: pueden ser contrarrestados con el espesamiento de lodos - Fallas en la estructura: aberturas, paso de agua y residuos a las unidades de tratamiento posteriores - Fallas en el funcionamiento: variaciones de las características típicas de operación - Funcionamiento irregular: se interrumpen momentáneamente las actividades de operación de la unidad de tratamiento - Existe acumulación de lodo o residuos en la unidad de tratamiento, que se retiran solo cuando existe acumulación - Mantenimiento correctivo: acciones de emergencia - Información incompleta: planos y manual - Certificados académicos del personal - Registro de actividades: bitácora
BUENO	<ul style="list-style-type: none"> - No existe generación de olores y vectores - No presenta fallas en la estructura - Funcionamiento regular: no se interrumpen las actividades de operación, presentan variaciones en las características típicas de operación que pueden ser manejables - Acciones de limpieza: existe acumulación de lodo o residuos en la unidad de tratamiento, pero se retiran de forma periódica - Mantenimiento correctivo - Información del sistema: planos y manual - Certificados académicos y de capacitación del personal - Registro de actividades: bitácora
EXCELENTE	<ul style="list-style-type: none"> - No existe generación de olores y vectores - No existen fallas en la estructura - Funcionamiento continuo: no se interrumpen las actividades de operación de la unidad de tratamiento, no existen variaciones en las características típicas de operación - Acciones de limpieza continua - Programas de mantenimiento preventivo - Información del sistema: planos y manual - Certificados académicos y de capacitación del personal - Registro de actividades: bitácora

Fuente: Romero (2004)

Tabla 6. Tabla de recolección de información y evaluación en general de la PTAR y unidades de tratamiento

VISITA A LA PTAR DE LA INDUSTRIA LÁCTEA					
Fecha de visita			Hora:		
Visita	Planta de Tratamiento		Responsable:		
Criterio de evaluación	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE	OBSERVACIONES
EXTERIOR					
Generación de olores y vectores					
DOCUMENTOS					
Manual de operaciones					
Certificados académicos de los operarios					
Planos de la PTAR					
Registro de actividades (bitácora)					
FUNCIONAMIENTO					
Trampa de grasas					
Medidor de caudales					
Sistemas de purgas					
Tanque de homogenización					
Sistema de aire disuelto, DAF					
Tratamiento Biológico: Lodos Activados	Biorreactor aerobio 1				
	Biorreactor aerobio 2				
	Tanque decantador				
Tanque de espesamiento de lodos					
Filtro prensa					
Cámara de cloración					
Bombas dosificadoras					

3.2. Plan de muestreo y caracterización del agua residual de la PTAR

3.2.1. Muestreo

En vista a que la PTAR opera 16 horas y en base a las mediciones de caudal de dos semanas, que se muestra en el Anexo II, se estableció realizar un muestreo compuesto para garantizar la representatividad de las muestras. De la primera visita al lugar, se identificaron 6 puntos de muestreo: afluente, trampa de grasas, DAF, 2 biorreactores y efluente. Una vez seleccionados los puntos de muestreo, se determinaron los días a muestrear: lunes, miércoles, martes y jueves (16, 18, 24 y 26 de octubre del 2017). Se despreciaron los días viernes y sábados, debido a que los ensayos tenían que realizarse al día siguiente del muestreo y los laboratorios en el que se llevaron a cabo los análisis físicos y químicos no laboran sábados ni domingos. Para el análisis químico (aceites y grasas) se requirió tomar muestras puntuales en botellas de vidrio color ámbar de 1 l del: afluente (P1), DAF (P2) y efluente (P3).

En la Figura 3, se indican los puntos de muestreo seleccionados.

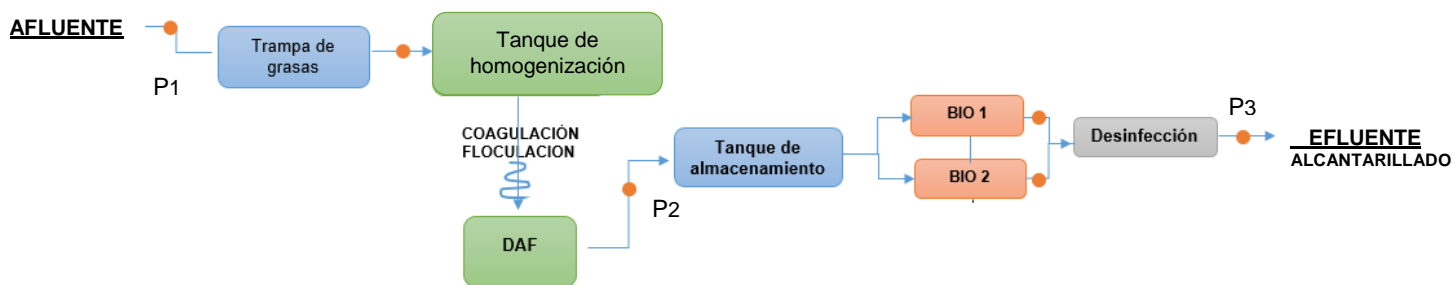


Figura 3. Puntos de muestreo_ PTAR de estudio

Dónde:

- **Puntos de muestreo**

El intervalo de recolección y número de muestras simples requeridas para conformar las muestras compuestas, se determinó mediante los criterios de muestreo

establecidos en la norma técnica para el control de las descargas líquidas NT002 que se muestra en la Tabla 7 (Secretaría de Ambiente, 2016).

Tabla 7. Frecuencia de muestreo y número de muestras simples en función del tiempo de operación del generador de la descarga

Horas por día de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (Horas)	
		Mínimo	Máximo
Hasta 8	4	1	2
Mas de 8 y hasta 16	4	2	3
Mas de 16 y hasta 24	6	3	4

Fuente: (Secretaria de Ambiente, 2016, p. 8)

La PTAR de estudio labora 16 horas, y según la Tabla 7, se requiere un total de 4 muestras simples, pero para el estudio se estableció recolectar un total de 6 muestras simples, con el objetivo de obtener muestras representativas de la jornada. Es así que, para conformar las muestras compuestas de cada punto de muestreo, se tomaron 6 muestras simples diarias durante 4 días. La recolección de cada muestra simple fue en intervalos de 3 horas en jornadas de 06h00 a 21h00 y en envases plásticos de 1 l. El manejo y recolección de muestras fue bajo los lineamientos establecidos en la norma NTE INEN 2169: 2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013).

3.2.1.1. Medición del caudal

Para conformar las muestras compuestas es indispensable conocer el caudal instantáneo de las muestras simples. Es así que, para cada muestreo simple se determinó el caudal instantáneo mediante el método volumétrico, que consiste en colocar bajo el chorro de agua un balde de volumen conocido y con un cronómetro tomar el tiempo que tarda en llenarse el recipiente, anotar los tiempos obtenidos y con la Ecuación 1 calcular el caudal instantáneo (Piragua Corantioquia, 2016). De la visita a la PTAR, se identificó que cada punto de muestreo cuenta con tuberías de salida que permiten la caída de agua y facilitan la medición de caudal a través del método seleccionado.

$$Q_i = \frac{V}{t} \quad [1]$$

Dónde:

Qi: caudal medido al momento del muestreo de cada una de las muestras simples (l/s)

t: tiempo de llenado del recipiente de volumen conocido (s)

En la Figura 4 se muestra la medición de caudal y recolección de muestras simples



Figura 4. Medición del caudal y recolección de muestras simples para conformación de muestras compuestas

Fuente: (La Autora; Piragua Corantoquia, 2014)

Las muestras compuestas se conformaron a partir del volumen de muestras simples proporcional al caudal, que se determinó mediante la Ecuación 2 (Secretaría del agua, 2016).

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{N \times Q_m} \quad [2]$$

Dónde:

Vi: volumen individual de cada una de las alícuotas (ml)

V: volumen de la muestra compuesta (ml) (4000 ml)

Qi: caudal medido al momento del muestreo de cada una de las alícuotas (l/s)

N: número de alícuotas individuales que compone la muestra compuesta

Qm: caudal medio en el período de muestreo (l/s)

Una vez calculado el volumen de aporte de cada muestra simple, se aforó cada alícuota con una jarra graduada de 1 l y probeta graduada de 500 ml, se procedió a mezclar estas alícuotas en envases de plástico de 4 l para (afluente, 2 biorreactores y efluente) y de 1 l para (trampa de grasas y DAF), hasta conformar las muestras compuestas de los 6 puntos de muestreo. Las muestras se etiquetaron con fecha de toma de muestra, punto de muestreo y se preservaron en neveras portátiles con sustitutos de hielo para evitar alteraciones en las muestras hasta su transporte al laboratorio, considerando los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 2169:2013. En la Tabla 8, se muestra los parámetros físicos y químicos que se analizaron, recipientes utilizados, conservación y volumen mínimo requerido (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013).

Tabla 8. Técnicas generales para la conservación de muestras para análisis físicos y químicos

Parámetros	Tipo de recipiente	Volumen mínimo para análisis (ml)	Conservación	Tiempo máximo de conservación
Aceites y Grasas	Vidrio ámbar (1 l)	1000	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl o H ₂ SO ₄ , refrigeración 4°C	1 mes
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	Plástico (4 l)	1000	Refrigeración 4°C	24h
Demanda Química de Oxígeno DQO	Plástico (4 l)	100		1 mes
Fósforo Total	Plástico (4 l)	250		1 mes
Nitrógeno Total Kjeldahl	Plástico (4 l)	250		1 mes
Sólidos Suspendidos	Plástico (1 l)	500		2 días
Sólidos Disueltos	Plástico (1 l)	100		24h
Sólidos totales	Plástico (1 l)	100		24h

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013, p. 9-16

3.2.2. Caracterización física y química de las aguas residuales de la industria láctea

Al finalizar el periodo de muestreo, se llevó a cabo la caracterización física y química de las muestras de agua. Los parámetros físicos y químicos para el análisis fueron seleccionados tomando como referencia los parámetros de vertido para este tipo de industria, que se especifican en la Norma Técnica NT002 y en base a los parámetros que remueve cada unidad de tratamiento (Romero, 2004; Secretaría de Ambiente, 2016).

Los parámetros físicos y químicos fueron: cuatro **In-Situ** (campo): pH, temperatura, nitritos, nitratos y ocho **Ex -Situ** (Laboratorio), físicos: sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales, químicos: fósforo total, nitrógeno total Kjeldahl, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno y aceites y grasas. Los 12 parámetros fueron medidos en el afluente y efluente de la PTAR. En las unidades de tratamiento se midieron al menos tres de los doce parámetros establecidos, esto en base a la unidad de tratamiento y contaminante que remueva, los parámetros físicos y químicos (ExSitu) se caracterizaron en los siguientes laboratorios:

- Escuela Politécnica Nacional (EPN), Laboratorio Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICA). Ciudad Quito.
- Escuela Politécnica Nacional (EPN), Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM). Ciudad Quito.

La determinación de los parámetros analizados fue mediante métodos normalizados que se presentan en la Tablas 9 y 10.

El equipo y reactivos empleados para la determinación de los parámetros en campo se muestran en la Tabla 11.

Tabla 9. Métodos de análisis físico químicos para medición de parámetros en laboratorio

Parámetros	Unidad	Métodos
Sólidos Totales	mg/l	2540 A
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540 D
Sólidos Disueltos	mg/l	2540 C
Aceites y Grasas	mg/l	5520 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/l	Espectrofotómetro HACH800
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	Respirométrico/ Winkler
Fósforo Total	mg/l	4500-P
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	4500 B

Fuente: APHA, et. al (1992), HACH (2000)

Tabla 10. Métodos de análisis físicos y químicos para medición de parámetros en campo

Parámetros	Unidad	Métodos
Potencial de Hidrógeno	pH	Potenciométrico
Temperatura	°C	
Nitritos	mg/l	HACH8507
Nitratos	mg/l	HACH8039

Fuente: APHA, et. al (1992), HACH (2000)

Tabla 11. Equipo y reactivos empleados para la determinación de parámetros en campo

Parámetros	Unidad	Equipos	Reactivos
Potencial de Hidrógeno	pH	pH-meter- OAKLON	----
Temperatura	°C	pH-meter- OAKLON	----
Nitritos	mg/l	DR-800	NitriVer3
Nitratos	mg/l	DR-800	NitraVer5

Estos equipos son propiedad de la empresa privada que opera la PTAR y fueron prestados para la medición de los parámetros mencionados. Para la medición de pH, se empleó el equipo pH-meter-OAKLON y para la medición de nitritos y nitratos se utilizó el espectrofotómetro DR 800. Los reactivos para la medición de este parámetro fueron proporcionados por la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Laboratorio Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICA). Ciudad Quito.

3.3. Verificación del cumplimiento de los resultados obtenidos de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR con la normativa ambiental vigente

Los resultados de los análisis de los parámetros físicos y químicos ya mencionados en el afluente y efluente fueron comparados con los criterios de calidad establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA)-Libro VI-Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua-Tabla 8: límites de descarga al sistema de alcantarillado público, Tabla 9: límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y con la Norma Técnica de control de descargas líquidas **NT002**, con el objetivo de determinar la calidad del agua en base al cumplimiento o no con la normas.

De ser el caso, a los resultados que presenten una variación significativa se empleará la prueba Q, que permitirá conocer si dicho resultado debe ser rechazado o no. Esta prueba se calcula dividiendo por el rango del arreglo de datos la diferencia entre el dato cuestionable y el valor más próximo a él. Si el valor de Q excede los valores enumerados en la Tabla 12. Según el valor apropiado de n, para este caso será igual a 4, se puede rechazar el dato cuestionable con un nivel de confianza del 90%. El procedimiento se puede repetir sobre los datos remanentes hasta rechazar todos los datos cuestionables (Romero, 2004).

Tabla 12. Valores de q para un nivel de confianza del 90%

n	Q
3	0,94
4	0,76
5	0,64
6	0,56

Fuente: (Romero, 2004, p. 113)

3.4. Evaluación de la eficiencia

El método para determinar la eficiencia del tratamiento de los procesos unitarios y de la PTAR en general, fue en base al cálculo de los porcentajes de remoción de los

contaminantes (resultados caracterización de los parámetros físicos y químicos establecidos) a través de la Ecuación 3 (Romero, 2004).

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad [3]$$

Dónde:

E: Eficiencia con respecto a cada parámetro

C_o: valor inicial del parámetro (mg/l)

C_e: valor final del parámetro (mg/l)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción en general de la PTAR

La PTAR labora de lunes a sábado en un horario de 05h00 a 21h00. De las visitas y revisión del manual de operaciones se identificó que ésta posee un diseño que funciona a gravedad y bombeo, cuenta con cuatro fases de tratamiento: pretratamiento (trampa de grasas), tratamiento primario (tanque de homogenización y DAF), secundario (Lodos activados) y terciario (espesamiento de lodos, filtro prensa y cloración) Ver Figura 5. La PTAR receipta solamente el agua residual de las actividades de procesamiento de la materia prima, fue diseñada para tratar un caudal de 350 m³/d, cargas orgánicas de DQO: 2000 mg/l y DBO₅: 600 mg/l.

Sin embargo, la PTAR actualmente maneja un caudal promedio de 280 m³/d, inferior al del diseño. A su vez, de la caracterización física y química realizada por este proyecto, se determinó que la composición del afluente se encuentra constituido por agua, variaciones de pH (alcalinos, rangos de hasta 12), sólidos suspendidos, disueltos, totales, materia orgánica superior a lo establecido para el diseño, variación de temperatura, nitrógeno, fósforo, aceites y grasas, cuyas concentraciones se relacionan con las actividades del procesamiento de la materia prima; lavado de equipos, instalaciones y derrames de leche de las etapas de procesamiento.

Para que el tratamiento inicie debe de mantenerse un pH óptimo del agua de 7,5 a 8,5. Sin embargo, el pH del agua resulta ser alcalino, presentando valores de hasta 12 en horas pico (06h00, 09h00, 12h00 y 15h00). Por lo cual se emplea ácido nítrico para su neutralización.

Las actividades que se desarrollan dentro de la PTAR se encuentran a cargo de una empresa privada externa, quienes prestan sus servicios anualmente: suministro de químicos para el tratamiento de las aguas residuales (policloruro de aluminio, floculante, hipoclorito de sodio, ácido nítrico y cal) y actividades de operación de la PTAR a cargo de 4 operarios: deshidratación de lodo, control de pH y cloro, control manual de la dosificación de: policloruro de aluminio, ácido, cloro y floculante, preparación de

floculante y manipulación de cal, cuyas actividades las desarrollan en dos jornadas de 8 horas cada una. En las actividades de operación no se incluyen análisis físicos y químicos del agua, ya que la PTAR no cuenta con equipos e instrumentos que permitan realizar dicha actividad de forma continua, por lo cual resulta difícil conocer y controlar la calidad del efluente en cualquier instante lo que genera incertidumbre en cuanto al cumplimiento o no de los parámetros de control de descarga que se establecen en las normas nacionales.

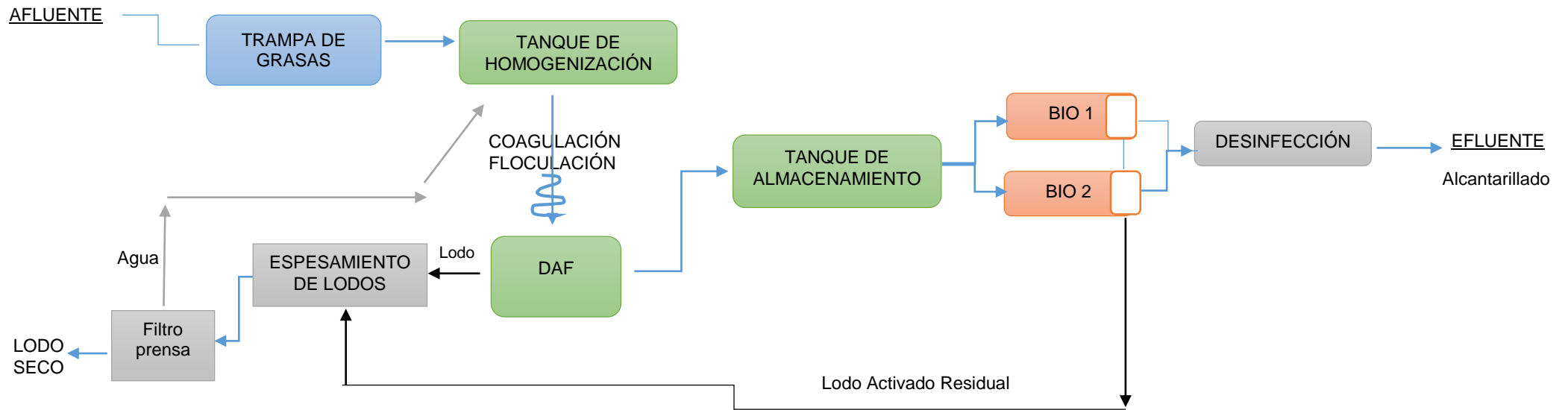


Figura 5. Diagrama de flujo de la PTAR

LEYENDA	
Pretratamiento	
Tratamiento Primario	
Tratamiento Secundario o biológico	
Tratamiento Terciario	

El control, seguimiento y reporte de las actividades de la PTAR se encuentran a cargo del jefe de la PTAR, sus labores las desempeña de lunes a viernes en una jornada de ocho horas (08h00 a 17h00). Los reportes de las actividades y consumo de los productos químicos se envían al representante de la empresa privada, quien se encarga de enviar dicha información para la facturación de servicios al departamento de contabilidad, mientras que el reporte de actividades se envía al jefe del departamento ambiental de la industria láctea de estudio, quienes serán los encargados de tomar decisiones en cuanto a las actividades de mejora, mantenimiento, etc. Sin embargo, aplicar las actividades de mejora depende de la autorización del gerente general de la industria láctea, así como del presupuesto con el que cuente ésta.

En la Figura 6, se muestra el organigrama de la PTAR.

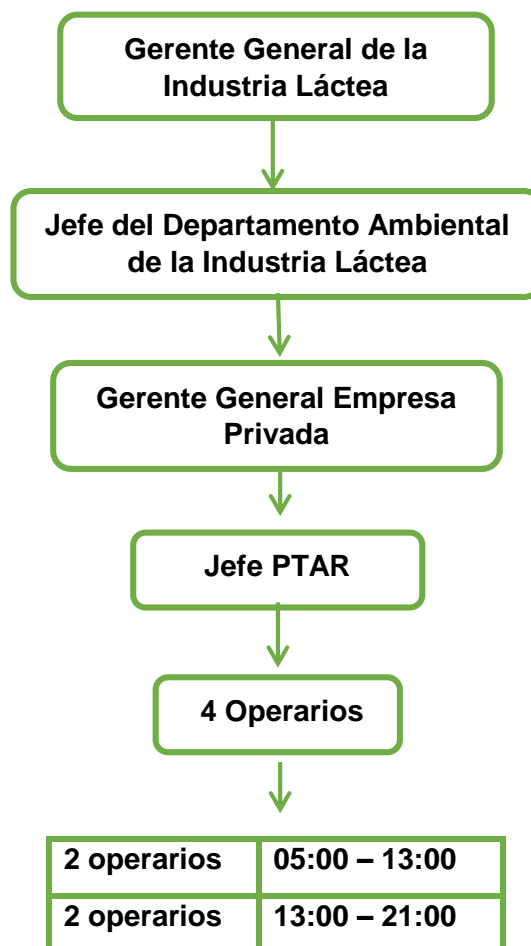


Figura 6. Organigrama PTAR

4.2. Descripción de las características y condiciones actuales de funcionamiento de las operaciones unitarias de la PTAR

4.2.1. Trampa de grasas

El sistema de tratamiento de la PTAR inicia con el pretratamiento o primera unidad de tratamiento, que es la trampa de grasas. El agua residual producto del procesamiento de la materia prima desemboca en esta unidad, implementada para la retención de un porcentaje de sólidos suspendidos, aceites y grasas, con el fin de proteger el funcionamiento de equipos, tuberías y unidades de tratamiento posteriores. Las características de la trampa de grasas se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Características de la trampa de grasas

TRAMPA DE GRASAS		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Ancho	m	0,96
Largo	m	2,14
Altura	m	0,83
Volumen	m ³	1,70
Tiempo de retención	min	6
Borde libre	cm	10
Dispositivo de ingreso	plg	PVC 8" Ø
Dispositivo de salida	plg	PVC 6" Ø
Material	----	Hormigón y Acero inoxidable

De las visitas se identificó que el agua residual desemboca en la trampa de grasas mediante tubería PVC de 8" Ø exterior, la unidad es de hormigón y acero inoxidable, posee un volumen útil de 1,70m³, tiempo de retención de 6 minutos, borde libre de 10 cm y tubería de salida PVC de 6" Ø exterior. Ésta se divide en cuatro cámaras por 3 planchas de acero inoxidable, como se aprecia en la Figura 7. En la primera y segunda cámara se lleva a cabo la retención de sólidos en suspensión, aceites y grasas, que después de un tiempo de retención se acumulan en la superficie y a criterio del operador son retirados de forma manual mediante una pala, se recolectan en un balde para posteriormente vaciarlo en el tanque de espesamiento de lodos.

La primera y tercera plancha presentan perforaciones de 2 mm de diámetro en 11 cm de la parte inferior de esta. Así también, en la segunda plancha, en 22 cm de la parte superior de ésta existen perforaciones de 2 mm de diámetro.



Figura 7. Trampa de grasas

Las perforaciones de las planchas afectan el desempeño de la unidad, ya que con el transcurso del tiempo se taponan al ingresar residuos de gran tamaño como: plásticos, pitillos y otros elementos, que impide el paso regular del agua hacia las cámaras siguientes, lo que resulta en el desbordamiento del agua hacia las cámaras siguientes. A su vez, los soportes que sostienen las planchas 1 y 2 presentan aberturas que contribuyen en la fuga continua de agua, sólidos suspendidos, aceites y grasas, durante las 16 horas de operación, como se presenta en las Figuras 7 y 8. Los contaminantes que logran salir, pueden ser transportados mediante tuberías y equipos hacia las unidades de tratamiento posteriores.

Se observó también, una falta de actividades de mantenimiento en la unidad de tratamiento, que ha llevado a que las baldosas de las paredes de la unidad se desprendan, como se puede evidenciar en los Figuras 7 y 8. La unidad de tratamiento no cuenta con tapas que impidan la salida de olores y minimice la contaminación visual hacia el personal que labora en la industria láctea tanto de forma interna como externa. Para contrarrestar la magnitud de las variaciones de funcionamiento de la unidad: taponamiento de los orificios de las planchas y desbordamiento de agua, sólidos, aceites y grasas, los operarios de turno proceden a realizar actividades de emergencia: retiran

las planchas y realizan la limpieza de forma manual mediante agua a presión, como se observa en el Figura 8, por lo menos dos veces al día alrededor de 5 a 10 minutos. Mientras se realiza la actividad, los operarios desvían el agua al alcantarillado para evitar el paso de sólidos, aceites y grasas a la unidad de tratamiento posterior, cuya acción, con el tiempo podría afectar el funcionamiento del sistema de alcantarillado. La actividad de limpieza de las planchas no la realizan cada hora ya que es una actividad que demanda de personal y tiempo, además los operarios deben de estar pendiente de las otras unidades de tratamiento.



Figura 8. Diseño de las planchas, limpieza manual, aberturas en los soportes y desbordamiento de agua

Es así que, de las tablas de evaluación empleadas (Ver Anexo I), e información recolectada de las visitas, se obtuvo que el funcionamiento de la unidad resulta ser no aceptable, debido a las fallas y variaciones en el funcionamiento, por lo cual es necesario realizar cambios y arreglos en la unidad para lograr un funcionamiento óptimo y que alcance un criterio de evaluación de rango excelente.

4.2.2. Tanque de homogenización

El agua, después de la trampa de grasas se transporta por acción de la gravedad mediante tubería PVC de 6" Ø exterior al tratamiento primario, segunda unidad de tratamiento que resulta ser el tanque de homogenización. En esta unidad se regula el caudal y el pH del agua con el fin de obtener estabilidad en las unidades de tratamiento posteriores. Las características del tanque de homogenización se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Características del tanque de homogenización

TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Tubería de entrada	plg	PVC de 6" Ø
Profundidad	m	3,5
Largo	m	10
Ancho	m	4
Volumen	m ³	140
Tiempo de retención	h	8
Material	----	Hormigón

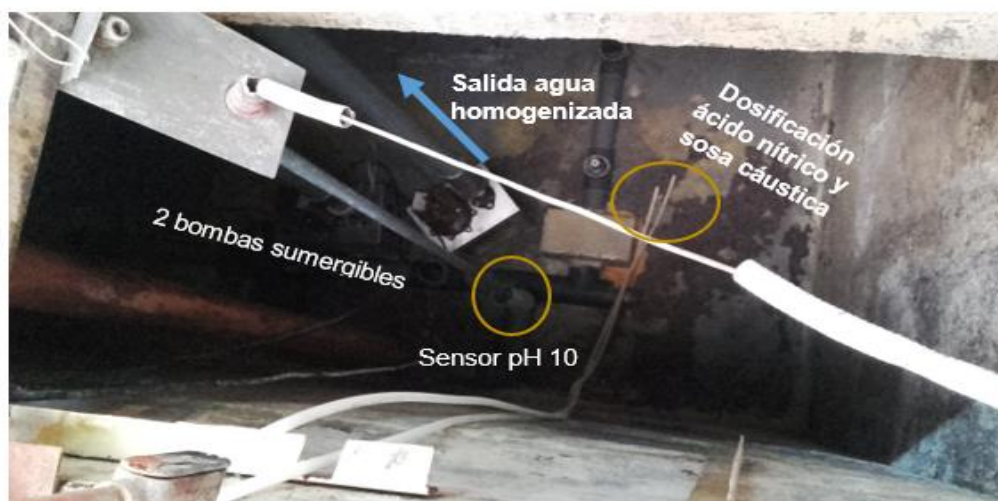
La unidad de tratamiento es de hormigón, con un volumen útil de 140 m³, tiempo de retención de 8 horas, se encuentra ubicada debajo del DAF y filtro prensa, como se presenta en la Figura 9.



Tubería de PVC y válvula de entrada de agua al tanque de homogenización



homogenizador



Tanque de homogenización

Figura 9. Tanque de homogenización

De la revisión del manual de operación se identificó que la regularización del pH se da mediante un sensor (pH 10-01), el cual envía la señal según corresponda a las bombas dosificadoras de los químicos acidificante (ácido nítrico) o elevador (sosa cáustica). La homogeneización del agua es posible gracias al empleo de un soplador (blower), que mediante 68 difusores redondos ubicados en la parte inferior del tanque distribuyen el oxígeno en forma de burbujas, que impiden que disminuya la cantidad de oxígeno en el agua, generación de olores y permitirá una correcta homogenización.

De las visitas técnicas, se observó que durante la jornada de labores el pH del agua que llega al tanque de homogeneización es muy variable, resulta alcalino, llegando hasta 12 en horas pico, por lo cual la bomba dosificadora de sosa cáustica fue dispuesta para la dosificación del ácido nítrico. Sin embargo, la dosificación mediante las 2 bombas dosificadoras es insuficiente, lo que obliga a los operarios a realizar trabajos de emergencia como: verter ácido directamente en la trampa de grasas y así alcanzar un pH de 7,5 a 8,5 de forma inmediata. De no alcanzar el pH óptimo aún con la acción de emergencia, se opta por desviar el caudal de entrada a la alcantarilla alrededor de 2 a 5 minutos, hasta que se regule. Las acciones de emergencia la realizan por lo menos dos veces al día.

La ineficiente regulación de pH en horas pico se relaciona con la capacidad de las bombas y la zona de inyección. Es decir, las 2 mangueras que inyectan el ácido nítrico se encuentran en una sola área (junto a las bombas sumergibles de succión), como se observa en el Figura 9, lo que retarda la distribución homogénea de éste aun con la aplicación de aire para la mezcla. Si el pH no es regulado al óptimo de trabajo resulta en un consumo variable de químicos (ácido nítrico y policloruro de aluminio) como se observa en la Tabla 15. Mediante información de la empresa privada se conoce que el costo de ácido nítrico es de 0,68 ctvs/kg y el costo de coagulante es de 1,0 dólar/kg.

Tabla 15. Consumo de químicos durante los meses de agosto, septiembre y octubre

INSUMOS	AGOSTO	PRECIO/MES	SEPTIEMBRE	PRECIO/MES	OCTUBRE	PRECIO/MES
	kg	\$	kg	\$	kg	\$
Ácido nítrico	4900	2940	6090	3654	9135	5481
Coagulante	3985	3985	5698	5698	5386	5386

Fuente: Jefe PTAR

De la información presentada en la Tabla 15, se deduce que la deficiente neutralización del pH incrementa el consumo de los químicos (ácido nítrico y policloruro de aluminio), ya que se maneja dosis variables de estos productos, lo que conlleva al incremento en la inversión económica destinada para el tratamiento del agua.

Es así que, de la información recolectada de las visitas y de las tablas de evaluación empleadas (Ver Anexo I), el funcionamiento de la unidad es considerado bueno, ya que no presenta fallas en la estructura. Sin embargo, existen variaciones del funcionamiento en horas pico por lo menos dos veces al día y no de forma continua (durante las 16 horas de operación), por lo cual, es indispensable realizar ajustes en las características de funcionamiento de la unidad, con el fin de establecer un consumo casi constante de químicos y así la unidad alcance un funcionamiento óptimo con un criterio de evaluación de rango excelente.

4.2.3. Sistema de aire disuelto (DAF)

Una vez el caudal y pH del agua son regulados, se transporta mediante bombas y tubería PVC de 6" Ø exterior a la siguiente unidad, tratamiento primario, tercera unidad, que es el DAF. El agua antes de ingresar al sistema DAF pasa por un floculador hidráulico que se mezcla con los químicos, coagulante (policloruro de aluminio) y floculante (poliacrilamida aniónico), el agua desemboca en el cuerpo principal del DAF en donde de forma controlada se inyecta un flujo de agua saturada con aire a presión.

La saturación del agua se lleva a cabo en un tanque de presurización conectado a un compresor (genera presión). Debido al cambio brusco de presión de agua, ésta se sobresatura liberando micro burbujas que se adhieren a las partículas y que permiten la flotación y posterior acumulación en la superficie que serán removidos mediante un sistema de aspas que se activa de forma manual, esta capa de lodo se vierte a un tanque de espesamiento de PVC de 2.5 m³ de capacidad. Una vez lleno se añade floculante y cal para facilitar su manejo y reducir la generación de olores, se mezcla por unos minutos hasta homogeneizar y se bombea hacia el filtro prensa. En la Tabla 16. se presentan las características del DAF, así también, en la Figura 10 se muestra la unidad de tratamiento.

Tabla 16. Características del sistema de aire disuelto (DAF)

FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO (DAF)		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Ancho	m	2,20
Longitud	m	2,80
Altura	m	2,90
Volumen	m ³	17,86
Tiempo de retención	min	15
Temperatura	°C	29,5
Presión	psi	80
Aire/Sólidos (A/S)	----	0,05
Material	----	Acero inoxidable

Fuente: La Autora; Hidrotecnología,2012

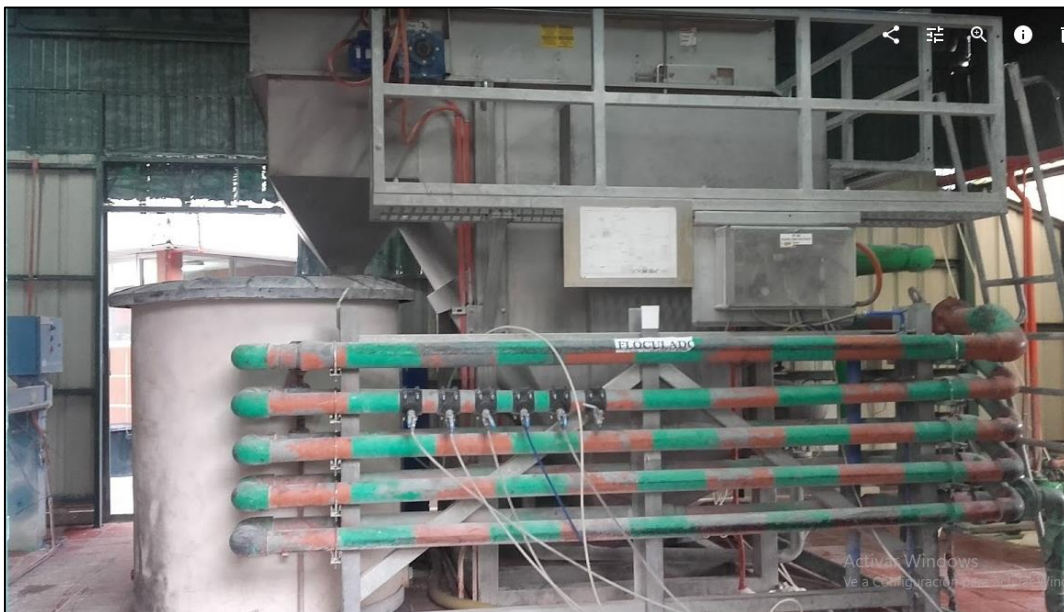


Figura 10. Flotación por aire disuelto (DAF)

De las visitas y revisión del manual de operaciones se identificó que la temperatura del agua en el sistema DAF se mantiene en un rango de 29.5° C, relación aire/sólidos de 0,05 (Ver Anexo III), tiempo de retención de 15 minutos y presión de trabajo de 80 psi. Según Romero (2004), las características típicas de operación de esta unidad se basan en la relación aire/sólidos (A/S) de 0.03 a 0.05, tiempo de retención de 5 a 15 minutos y presión de operación de 50 a 90 psi.

Al comparar la relación A/S del DAF de la PTAR con las características típicas de operación de Romero (2004), se tiene que ésta se encuentra en el límite del rango establecido, el tiempo de retención y presión de trabajo se encuentran dentro de los rangos establecidos. Sin embargo, de las visitas se pudo observar que en horas pico existe fuga de lodo por los vertederos de salida del cuerpo del DAF, los cuales se acumulan en las canaletas que transportan el agua tratada hacia la tubería de salida, como se muestra en la Figura 11, esto puede estar relacionado con el valor límite de A/S, que podrían estar causando que la velocidad del aire sea excesiva y destruya el sobrenadante por efecto del esfuerzo y de la turbulencia (Romero, 2004).

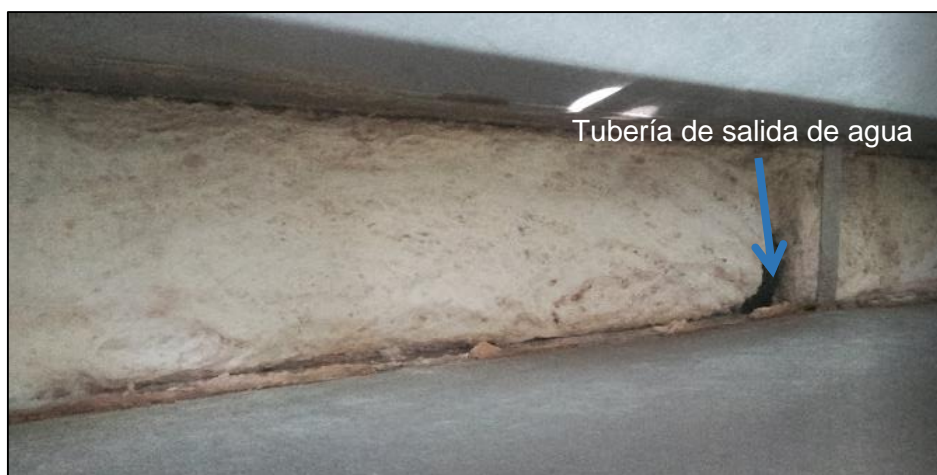


Figura 11. Tubería de salida del agua

Así también se relaciona con el manejo de la unidad, ya que las aspas rotatorias encargadas de retirar la capa de lodos que se forma en la superficie se activa de forma manual cada cierto tiempo (2 a 3 horas), se tomó esta acción ya que anteriormente las aspas funcionaban de forma continua, pero en el tanque de almacenamiento de lodos la mayor parte estaba compuesta por agua. A su vez, de la entrevista realizada a los operarios se pudo conocer que, de la tubería de salida del agua tratada se retiró el material absorbente (tipo salchicha) cuya finalidad era impedir el paso o salida de lodos. Es así que, al no existir una limpieza (retiro de lodos) continua del lodo que se acumula en las canaletas, éste puede ser transportado fácilmente al tanque de hormigón que almacena el agua de salida del DAF (cuya capacidad es de $13,7\text{m}^3$).

Con el transcurso del tiempo se acumularán en la superficie de éste y a su vez contribuirán en la concentración de sólidos y materia orgánica en el agua que posteriormente será transportada mediante bombas y tuberías a la unidad de tratamiento siguiente (2 biorreactores).

La limpieza del DAF se realiza cada día en la noche una vez finalizado el horario de operación (16 horas). Se vacía la unidad de tratamiento y mediante una hidrolavadora, el personal de limpieza de la industria láctea, con experiencia en el manejo de este equipo, procede a la limpieza. De la información recolectada de las visitas y de las tablas de evaluación empleadas (Ver Anexo I), el funcionamiento de la unidad es considerado bueno. Esto debido a la falta de actividades de limpieza y variación en las características de funcionamiento en horas pico, por lo cual, es necesario realizar ajustes en el manejo y operación de la unidad y así alcanzar un funcionamiento óptimo con un criterio de evaluación de rango excelente.

4.2.4. Filtro prensa

El lodo resultante del tratamiento del DAF y 2 biorreactores se transporta a la cuarta unidad de tratamiento, tanque espesador de PVC con capacidad de $2,5 \text{ m}^3$, en el cual se añade cal y floculante, el lodo espeso se bombea a la quinta unidad de tratamiento, filtro prensa, como se observa en la Figura 12. Una vez en el filtro prensa, el pistón hidráulico empuja la placa de acero contra las placas de polietileno generando presión entre éstas, cuya acción reduce el agua existente en la mezcla. El proceso de filtración finaliza cuando el espacio entre las placas filtrantes está completamente lleno de materia sólida y el goteo de agua es mínima. Al finalizar el proceso se obtiene una masa (lodo) compacta, seca y manejable, que se retira manualmente y se almacena en costales hasta que el gestor calificado acuda a su transporte y disposición final. En la Tabla 17 . se presentan las características del filtro prensa.

Tabla 17. Características filtro prensa

FILTRO PRENSA		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Capacidad	$\frac{m^3}{d}$	5
Presión de trabajo	psi	3000



Figura 12. Tanque de espesamiento de lodos y filtro prensa

De las primeras visitas realizadas se observó fallas en el funcionamiento del filtro prensa. La presión de trabajo era menor a 3000 psi, resultando en variaciones de las características de operación. Es decir, el filtro una vez cargado con la mezcla de lodo y puesto en marcha corría el riesgo de abrirse repentinamente, resultando en una operación de riesgo tanto para los operarios como para el personal interno de la industria láctea. Las variaciones del funcionamiento del filtro se relacionan con fallas en la bomba de presión, ya que ésta no proporcionaba una presión mayor a 2000 psi, debido a la inexistencia de mantenimiento.

La gravedad del funcionamiento de la unidad, llevó a la empresa privada a cargo de la operación y manejo de la PTAR, a tomar medidas inmediatas: contratar un técnico especializado en este tipo de equipos, quien se encargó de evaluar y arreglar las fallas existentes. El periodo que tomo arreglar las fallas del filtro fue de aproximadamente una semana, en la cual, los operarios debían de realizar acciones de emergencia como:

bombear el lodo resultante del proceso DAF y 2 biorreactores a tanques secundarios, hasta que el gestor calificado acuda a su transporte y posterior disposición.

Ante una emergencia similar, los operarios no cuentan con el conocimiento requerido para identificar y arreglar posibles fallas del filtro, ya que se requiere de personal altamente calificado para el arreglo y mantenimiento de esta unidad. Actualmente el funcionamiento de la unidad de tratamiento se considera como excelente ya que no presenta fallas ni variaciones en las características de funcionamiento, por lo cual, son necesarias llevar medidas preventivas que garanticen un óptimo funcionamiento.

4.2.5. Lodos activados: Biorreactores

El agua clarificada resultante del sistema DAF se descarga al tanque de almacenamiento del cual se bombea hacia el tratamiento secundario, quinta unidad de tratamiento, compuesta por biorreactores de mezcla completa que funcionan en paralelo donde se somete a aireación para la digestión aeróbica de la materia orgánica mediante lodos activados (bacterias). Para la aireación del sistema en cada biorreactor se utilizan blowers, variadores de frecuencia y sensores de oxígeno disuelto (OD). Los sensores de oxígeno disuelto envían una señal de alarma al panel de control si éste se encuentra fuera de rango y se activará el variador que regulará la velocidad del motor del blower según la cantidad de oxígeno disuelto demandado.

La concentración programada de OD es de 2,7 mg/L, establecida por el fabricante. De los biorreactores el agua pasa al sedimentador, donde se da el proceso de clarificación gracias a las características aglutinantes del lodo que permite la sedimentación de los sólidos suspendidos (Hidrotecnología, 2012). Las características de los biorreactores se presentan en la Tabla 18. así también, en la Figura 13 se muestra la unidad de tratamiento.

Tabla 18. Características del biorreactor 1 y 2

BIORREACTOR 1 y 2		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Ancho	m	3,65
Longitud	m	6,28
Altura	m	2,46
Volumen	m ³	56,38
DQO entrada	mg/l	2000
DBO ₅ entrada	mg/l	600
Temperatura	°C	25
pH	----	8
Oxígeno Disuelto	mg/l	2,4
Tiempo de retención	h	5
Relación alimento/ microorganismos (A/M)		6,3
Material	----	Acero inoxidable

Fuente: (La Autora; Hidrotecnología, 2012)



Figura 13. Tratamiento biológico: biorreactores

Los dos biorreactores son de un volumen de 56,38 m³ cada uno, funcionan en paralelo, diseñados respectivamente para la asimilación de cargas orgánicas de 2000 y 600 mg/l de DQO y DBO₅, pH de 8, aire disuelto 2,4 mg/l, relación A/M de 6,3 (Ver Anexo III), tiempo de retención de 5 horas, una tasa del 5% de recirculación de lodos y un tiempo de aireación mayor a 5 horas. Según Romero (2004), las características operacionales de éste tipo de tratamiento requieren un período de aireación de 3 a 5 horas, relación A/M entre 0,2 a 0,6, temperatura óptima entre 25 y 35°C, un rango de recirculación de

lodos de 25 a 100%, pH óptimo entre 6,5 a 8,5 y una concentración de oxígeno disuelto mayor a 2 mg/l.

Al comparar las características operacionales de Romero (2004) con las de la unidad de tratamiento de la PTAR, los biorreactores están funcionando con una aireación sobre el rango establecido, lo que resulta en una mezcla excesiva que conlleva a problemas de rotura del floc biológico y levantamiento de lodo sedimentado (lodo en suspensión). A su vez, la relación A/M alta provee un crecimiento biológico disperso. Es así que, de las visitas se constató que en el sedimentador existe acumulación de flocs dispersos en la superficie, mientras que en los biorreactores se observó formación de espuma blanca que se puede atribuir a la presencia de detergentes, proteínas o la existencia de lodo joven, ya que al existir mezcla excesiva y una inferior tasa de recirculación de lodos (5%) a los biorreactores, no permite mantener las condiciones de biomasa adecuadas para la oxidación de la materia orgánica, lo cual resulta en la fuga de biomasa hacia el tanque sedimentador y posteriormente a la unidad de tratamiento siguiente (tanque de cloración).

Así también, los lodos dispersos no floculentos y de difícil sedimentación pueden atribuirse a la predominancia de flagelados (Romero, 2004). La pobre sedimentación del floc formado resulta en la fuga de lodo a la unidad de tratamiento siguiente (tanque de cloración), como se aprecia en la Figura 14.



Figura 14. Lodo floculento acumulado en la superficie del sedimentador

Los operarios esperan a que exista acumulación de lodos en la superficie del sedimentador para activar las bombas de recirculación y proceder a retirar los lodos mediante baldes y escobas. Es así que, de la información recolectada y de las tablas de

evaluación empleadas (Ver Anexo I), se considera que el funcionamiento de esta unidad es aceptable, debido a las variaciones de las características de funcionamiento y falta de acciones de limpieza, por lo cual es necesario realizar ajustes y así garantizar un óptimo funcionamiento con un criterio de evaluación de rango excelente.

4.2.6. Tanque de cloración

El agua después del tratamiento secundario, se transporta por acción de la gravedad a través de tubería PVC a la unidad de tratamiento la unidad de tratamiento terciaria, sexta unidad de tratamiento, tanque de cloración, en el cual mediante una bomba dosificadora se inyecta hipoclorito de sodio al agua para llevar a cabo el proceso de desinfección.

En la Tabla 19 se presentan las características del tanque de cloración. Así también en la Figura 15 se presenta la unidad de tratamiento.

Tabla 19. Características del tanque de cloración

TANQUE DE CLORACIÓN		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Largo	m	3,32
Ancho	m	2,37
Altura	m	1,65
Volumen	m ³	12,98
Tiempo de retención	min	35
Cloro residual	mg/l	1 – 1.5
Material	----	Hormigón



Figura 15. Tanque de cloración

El agua después del tratamiento biológico se transporta mediante tubería PVC de 3" Ø exterior al tanque de cloración de hormigón, el cual posee un volumen máximo de 12,98 m³. Para la cloración del agua se emplea hipoclorito de sodio al 10% que se inyecta al agua a través de una bomba dosificadora de ajuste manual. El tiempo de contacto entre el agua e hipoclorito de sodio es de 35 minutos.

De las visitas técnicas se observó que en esta unidad existe acumulación de lodos, como se muestra en la Figura 16, producto de la fuga de lodos en suspensión del sedimentador de los biorreactores. Retirar estos lodos no es tarea fácil, ya que se requiere de agua a presión, los operarios realizan dicha actividad por lo menos una vez a la semana. Sin embargo, la acumulación de lodos resulta en un efluente con concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos.



Figura 16. Acumulación de lodos en el tanque de cloración

Es así que, de la información recolectada y de las tablas de evaluación empleadas (Ver Anexo I), se considera que el funcionamiento de la unidad es aceptable, ya que no presenta fallas en la estructura, pero sí falta de acciones de limpieza que altera las características de funcionamiento de la unidad, por lo cual es necesario implementar acciones que garanticen un óptimo funcionamiento con un criterio de evaluación de rango excelente.

4.3. Muestreo

4.3.1. Determinación del caudal de afluente

Para determinar la frecuencia de muestreo fue necesario determinar las variaciones del caudal del afluente, por tal razón se llevó a cabo la medición de este durante las dos últimas semanas del mes de septiembre del año 2017, a través del método volumétrico y Fórmula 1, descrita en la metodología. Los resultados promedios de las mediciones de caudal se presentan en la Tabla 20. A su vez, la totalidad de los datos puntuales se presentan en el Anexo II.

Tabla 20. Caudales promedios durante dos semanas del mes de septiembre del 2017

DÍA	SEMANA 1						SEMANA 2					
	lunes	martes	miércoles	Jueves	viernes	sábado	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
FECHA	18/09	19/09	20/09	21/09	22/09	23/09	25/09	26/09	27/09	28/09	29/09	30/09
Unidad	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s
Caudal máximo	6,12	5,27	6,12	5,21	5,26	5,49	6,13	5,05	6,16	6,06	5,40	5,55
Caudal mínimo	4,00	3,80	4,23	4,00	3,82	3,50	3,80	4,00	4,20	4,00	3,90	3,79
Caudal Promedio	4,95	4,81	5,12	5,00	4,78	4,41	5,04	4,85	5,23	5,05	4,97	4,37
Caudal promedio diario	4,90											

Como se observa en la Tabla 20, los caudales se mantienen casi constante los días de operación de la PTAR (lunes a sábado), por lo cual se estableció emplear un muestreo compuesto de duración de dos semanas con el fin de cubrir casi una semana de operación de la PTAR, lo que permitió evaluar la eficiencia del tratamiento en dicho

período. A su vez, se determinó el caudal promedio diario, que es igual a 4,90 l/s. El caudal máximo diario se presenta los días miércoles, mientras que el caudal mínimo diario se presenta los días sábados. De la información presentada, se observa que los caudales máximos horarios de los días de operación, se presentan en las horas de la mañana (07h00), mientras que los caudales mínimos horarios durante los días de operación, se presentan en las horas de la noche (21h00). La medición de los caudales de los puntos de muestreo fue en base al método volumétrico y Fórmula 1, descrita en la metodología.

4.3.2. Muestreo de las unidades de tratamiento de la PTAR

Como se estableció en la metodología, para el proyecto fue necesario realizar un muestreo compuesto con el objetivo de obtener muestras representativas. Los resultados de los caudales con los que se tomaron las muestras simples para la conformación de muestras compuestas durante el período de muestreo (octubre) se presentan en las Tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26.

Tabla 21. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas en el afluente

N° de muestras		Hora		Caudal promedio y pH							
				SEMANA 1			SEMANA 2				
				lunes		miércoles		martes		jueves	
				16-10-17		18-10-17		24-10-17		26-10-17	
		Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH		
		l/s	--	l/s	--	l/s	--	l/s	--		
1	6h00	5,6	12,0	5,9	12,5	5,8	11,4	5,2	11,0		
2	9h00	5,1	10,5	5,6	11,0	5,3	11,2	5,0	10,5		
3	12h00	5,0	10,0	5,3	10,9	5,3	10,2	4,8	10,0		
4	15h00	5,0	9,4	4,8	10,6	4,4	9,5	4,7	9,5		
5	18h00	4,8	8,9	4,5	9,8	4,4	9,0	4,4	9,3		
6	21h00	3,8	8,2	3,7	8,0	3,7	8,0	3,7	8,2		
Promedio±σ		4,9±0,5	9,8±1,2	5,0±0,7	10,5±1,4	4,8±0,7	9,9±1,2	4,6±0,5	9,8±1,0		

Tabla 22. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida de la trampa de grasas

		Caudal promedio y pH							
		SEMANA 1				SEMANA 2			
N° de muestras	Hora	Lunes		miércoles		martes		jueves	
		16-10-17		18-10-17		24-10-17		26-10-17	
		Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH
		l/s	--	l/s	--	l/s	--	l/s	--
1	6h00	5,5	11,8	5,8	12,0	5,8	11,0	5,2	11,0
2	9h00	5,0	10,5	5,5	11,0	5,3	10,8	5,	10,0
3	12h00	5,0	9,5	5,3	10,1	5,3	9,5	4,8	9,5
4	15h00	4,8	8,8	4,7	10,5	4,4	9,0	4,7	9,0
5	18h00	4,9	8,7	4,4	10,2	4,3	8,7	4,4	8,8
6	21h00	3,7	8,0	3,7	9,0	3,5	8,0	3,7	8,2
Promedio± σ		4,8±0,5	9,6±1,3	4,9±0,7	10,5±0,9	4,8±0,7	9,5±1,1	4,6±0,5	9,4±0,9

De los datos presentados en las Tablas 21 y 22 se observa que los caudales presentan diferentes valores en las distintas horas, lo cual se relaciona con las variaciones de las descargas, éstas no son constantes en una jornada. El caudal promedio del segundo día de muestreo difiere considerablemente con respecto al promedio en los otros días, lo que refleja que el día de mayor caudal resulta ser el miércoles.

A su vez, de la información recolectada de las visitas, se identificó que en horas de la mañana se llevan a cabo programas de limpieza en los equipos y unidades de procesamiento de la materia prima, lo que resulta en el incremento de flujo de las descargas de agua residual y pH, razón por la cual durante los 4 días de muestreo los caudales y pH máximos se registraron a las 06h00, mientras que los caudales y pH mínimos se observan a las 21h00, que se relacionan con los cambios de turno del personal por lo cual la producción decrece. Así también, se concluye que las horas pico se dan a las 06h00, 09h00, 12h00 y 15h00.

Además, aunque en menor proporción, el método de medición de caudal utilizado, también influye en la variación de la medición ya que éste depende de la apreciación de la persona responsable del muestreo.

Tabla 23. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida del sistema DAF

		Caudal promedio (l/s) y pH							
		SEMANA 1				SEMANA 2			
N° de muestras	Hora	lunes		miércoles		martes		jueves	
		16-10-17		18-10-17		24-10-17		26-10-17	
		Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH
		l/s	--	l/s	--	l/s	--	l/s	--
1	6h00	5,3	10,0	5,4	10,0	5,6	9,0	5,3	10,0
2	9h00	5,1	9,0	5,3	9,0	5,0	8,0	5,1	9,0
3	12h00	5,1	8,5	5,3	9,0	5,0	8,0	5,0	8,5
4	15h00	4,8	8,3	4,5	8,0	4,8	9,0	4,8	8,4
5	18h00	4,6	8,0	4,4	8,0	4,3	8,0	4,6	8,0
6	21h00	3,9	8,0	3,9	7,0	3,7	8,0	3,9	7,5
Promedio±σ		4,8±0,5	8,6±0,7	4,8±0,6	8,5±1,0	4,7±0,6	8,3±0,5	4,7±0,5	8,6±0,8

Tabla 24. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida del biorreactor 1

		Caudal promedio (l/s) y pH							
		SEMANA 1				SEMANA 2			
N° de muestras	Hora	lunes		miércoles		martes		jueves	
		16-10-17		18-10-17		24-10-17		26-10-17	
		Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH
		l/s	--	l/s	--	l/s	--	l/s	--
1	6h00	3,3	8,3	3,6	9,0	3,3	8,3	3,3	8,5
2	9h00	3,3	8,3	3,3	8,5	3,1	7,9	3,1	8,3
3	12h00	3,1	8,5	3,1	8,4	3,1	7,8	3,1	8,0
4	15h00	2,9	8,1	2,9	8,1	3,1	7,7	3,1	8,0
5	18h00	2,9	7,8	2,9	8,0	2,9	7,6	2,9	7,8
6	21h00	2,7	7,8	2,7	7,9	2,5	7,0	2,7	7,8
Promedio±σ		3,0±0,3	8,1±0,3	3,1±0,3	8,3±0,4	3,0±0,3	7,7±0,4	3,0±0,2	8,1±0,3

Tabla 25. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas a la salida del biorreactor 2

		Caudal promedio (l/s) y pH							
		SEMANA 1				SEMANA 2			
N° de muestras	Hora	lunes		miércoles		martes		jueves	
		16-10-17		18-10-17		24-10-17		26-10-17	
		Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH
		l/s	--	l/s	--	l/s	--	l/s	--
1	6h00	2,0	8,5	2,0	8,3	1,9	8,0	2,0	8,7
2	9h00	1,9	8,3	1,8	8,3	1,8	7,9	1,8	8,5
3	12h00	1,7	8,3	1,7	8,3	1,7	7,8	1,7	8,2
4	15h00	1,7	8,1	1,7	8,2	1,7	7,7	1,6	8,0
5	18h00	1,6	7,8	1,7	7,9	1,6	7,2	1,6	7,9
6	21h00	1,4	7,8	1,5	7,8	1,5	7,1	1,5	7,8
Promedio±σ		1,7±0,2	8,1±0,2	1,7±0,2	8,1±0,2	1,7±0,2	7,6±0,3	1,7±0,2	8,2±0,3

Tabla 26. Caudales y pH de cada muestra simple tomadas en el efluente

		Caudal promedio (l/s) y pH							
		SEMANA 1				SEMANA 2			
N° de muestras	Hora	lunes		miércoles		martes		jueves	
		16-10-17		18-10-17		24-10-17		26-10-17	
		Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH	Caudal	pH
		l/s	--	l/s	--	l/s	--	l/s	--
1	6h00	5,0	9,1	5,6	8,3	5,0	7,9	5,0	8,5
2	9h00	5,0	8,3	5,0	8,0	5,0	7,9	4,8	8,2
3	12h00	4,8	8,2	4,8	8,0	4,8	7,8	4,8	8,2
4	15h00	4,6	8,1	4,6	7,7	4,6	7,7	4,6	8,0
5	18h00	4,6	7,9	4,6	7,9	4,4	7,7	4,6	7,9
6	21h00	4,4	7,7	4,4	7,8	4,4	7,1	4,4	7,7
Promedio±σ		4,7±0,2	8,2±0,4	4,8±0,4	8,0±0,2	4,7±0,2	7,7±0,3	4,7±0,2	8,1±0,2

En las Tablas 23, 24, 25 y 26 se presentan los caudales de muestreo obtenidos en el DAF, efluente y biorreactores (BIO1, BIO2) que funcionan en paralelo, se observa que la variación del caudal en las diferentes horas es muy pequeña, esto se debe a que la PTAR cuenta con un tanque de homogenización, cuya función es mantener un caudal continuo o casi constante durante la operación. Como se observa en las Tablas 24 y 25 el caudal de salida del BIO1 es mayor al caudal del BIO2, esta variación se debe a que las válvulas están reguladas para que el ingreso del agua al BIO 1 sea mayor al BIO 2,

esto por recomendaciones del diseñador de la PTAR, sin embargo, se debe considerar enviar caudales similares a los Biorreactores.

De los caudales obtenidos en el muestreo se calculó el volumen de aporte de cada muestra simple requeridos para la conformación de las muestras compuestas, mediante la Fórmula 2 descrita en la metodología. Los volúmenes de aporte de cada muestra simple se relacionan directamente con los caudales del muestreo, por lo cual los volúmenes de aporte de cada muestra recolectada difiere una de otra . Por esta razón, las muestras simples que aportan con un mayor volumen en la conformación de las muestras compuestas son aquellas que fueron tomadas a las 06h00, así también, se observa que las que aportan con un menor volumen son aquellas que fueron tomadas a las 21h00.

Los volúmenes de aporte de cada muestra simple, para la conformación de muestras compuestas de 1 y 4 l, se presentan en las Tablas 27, 28, 29, 30, 31 y 32

Tabla 27. Volumen de cada muestra simple tomada en el afluente para formar una muestra compuesta de 4 l

N° de muestras	Hora	Volumen de aporte de cada muestra simple (l)			
		SEMANA 1		SEMANA 2	
		lunes	Miércoles	martes	jueves
		16-10-17	18-10-17	24-10-17	26-10-17
1	6h00	0,76	0,79	0,81	0,74
2	9h00	0,69	0,75	0,74	0,72
3	12h00	0,69	0,71	0,70	0,69
4	15h00	0,68	0,64	0,60	0,68
5	18h00	0,66	0,60	0,60	0,63
6	21h00	0,52	0,50	0,50	0,54
Volumen Total (l)		4	4	4	4

Tabla 28. Volumen de cada muestra simple tomada en la trampa de grasas para formar una muestra compuesta de 1 l

		Volumen de aporte de cada muestra simple (l)			
		SEMANA 1		SEMANA 2	
N° de muestras	Hora	lunes	Miércoles	martes	jueves
		16-10-17	18-10-17	24-10-17	26-10-17
1	6h00	0,19	0,20	0,19	0,19
2	9h00	0,17	0,19	0,18	0,17
3	12h00	0,17	0,18	0,19	0,16
4	15h00	0,17	0,16	0,16	0,17
5	18h00	0,16	0,15	0,16	0,17
6	21h00	0,13	0,12	0,13	0,13
Volumen Total (l)		1	1	1	1

Tabla 29. Volumen de cada muestra simple tomada en el DAF para formar una muestra compuesta de 1 l

		Volumen de aporte de cada muestra simple (l)			
		SEMANA 1		SEMANA 2	
N° de muestras	Hora	lunes	Miércoles	martes	jueves
		16-10-17	18-10-17	24-10-17	26-10-17
1	6h00	0,18	0,19	0,20	0,18
2	9h00	0,18	0,18	0,18	0,18
3	12h00	0,18	0,18	0,18	0,18
4	15h00	0,17	0,16	0,17	0,17
5	18h00	0,16	0,15	0,15	0,16
6	21h00	0,14	0,13	0,13	0,13
Volumen Total (l)		1	1	1	1

En las Tablas 28 y 29 se observa que se conformaron muestras compuestas de 1 l, esto se debe a que en las muestras de agua de éstas unidades se analizó solamente 3 parámetros en laboratorio, y no fue necesario recolectar un mayor volumen de agua, de acuerdo al volumen requerido para los análisis que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 30. Volumen de cada muestra simple tomada en el biorreactor 1 para formar una muestra compuesta de 4 l

		Volumen de aporte de cada muestra simple (l)			
		SEMANA 1		SEMANA 2	
N° de muestras	Hora	lunes	miércoles	martes	jueves
		16-10-17	18-10-17	24-10-17	26-10-17
1	6h00	0,74	0,79	0,74	0,74
2	9h00	0,74	0,72	0,69	0,68
3	12h00	0,68	0,67	0,69	0,68
4	15h00	0,63	0,62	0,69	0,68
5	18h00	0,63	0,62	0,64	0,63
6	21h00	0,59	0,58	0,56	0,59
Volumen total (l)		4	4	4	4

Tabla 31. Volumen de cada muestra simple tomada en el biorreactor 2 para formar una muestra compuesta de 4 l

		Volumen de aporte de cada muestra simple (l)			
		SEMANA 1		SEMANA 2	
N° de muestras	Hora	lunes	miércoles	martes	jueves
		16-10-17	18-10-17	24-10-17	26-10-17
1	6h00	0,78	0,77	0,75	0,78
2	9h00	0,74	0,70	0,71	0,71
3	12h00	0,65	0,64	0,65	0,65
4	15h00	0,65	0,64	0,65	0,63
5	18h00	0,62	0,64	0,63	0,63
6	21h00	0,56	0,59	0,60	0,60
Volumen total (l)		4	4	4	4

Tabla 32. Volumen de cada muestra simple tomada en el efluente para formar una muestra compuesta de 4 l

		Volumen de aporte de cada muestra simple (l)			
		SEMANA 1		SEMANA 2	
N° de muestras	Hora	lunes	miércoles	martes	jueves
		16-10-17	18-10-17	24-10-17	26-10-17
1	6h00	0,71	0,77	0,71	0,72
2	9h00	0,71	0,70	0,71	0,68
3	12h00	0,68	0,66	0,68	0,68
4	15h00	0,64	0,63	0,65	0,65
5	18h00	0,64	0,63	0,62	0,65
6	21h00	0,62	0,60	0,62	0,62
Volumen total (l)		4	4	4	4

4.4. Caracterización físico química y comparación de resultados del afluente y efluente con la normativa ambiental

Para el trabajo de titulación se caracterizaron un total de 12 parámetros: dos **In-Situ** (campo): pH, temperatura y diez **Ex -Situ** (Laboratorio), físicos: sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales, químicos: fósforo total, nitritos, nitratos, nitrógeno total Kjeldahl, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, aceites y grasas. Sin embargo, para la comparación de resultados con las normas se descartaron los resultados de: sólidos disueltos, nitratos y nitritos, debido a que éstos no se encuentran normalizados.

En las Tablas 33 y 34, se muestran los resultados de la caracterización física y química del afluente y efluente. La comparación de éstos con las normas: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI, Anexo I Tablas #8 - #9 y Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas (NT002) fue en base al promedio de cada parámetro analizado. El color rojo en las Tablas 33 y 34 representa el incumplimiento de los parámetros respecto a las normas.

A su vez, la comparación de resultados del análisis físico y químico del afluente, es necesaria para determinar si éste requiere o no la implementación de un sistema de tratamiento antes de la descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado. A su vez, la comparación de resultados físicos y químicos del efluente son indispensables para identificar el cumplimiento o no con los límites máximos de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado, que garanticen que las características de efluente aún después de un tratamiento no afectan las características éstos.

En el Anexo IV, se presentan los informes de los análisis de: Nitrógeno total Kjeldahl, aceites y grasas realizados en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM).

Tabla 33. Resultados caracterización física y química del afluente

Parámetro	Unidad	Límites de descarga															
		SEMANA 1		SEMANA 2		Promedio \bar{x}	Desviación estándar σ	TULSMA LIBRO VI, ANEXO I				NT002					
		lunes	miércoles	martes	jueves			Agua dulce	Cumple	Alcantarillado	Cumple	Agua Dulce	Cumple	Alcantarillado	Cumple		
Aceites y grasas	mg/l	48,3	28,5	33,5	9,4	29,9	13,9	30	SI	70	SI	30	NO	70	SI		
DBO5	mg/l	950	1200	1010	1100	1065,0	94,5	100	NO	250	NO	100	NO	170	NO		
DQO	mg/l	1975	2300	2190	2125	2147,5	117,6	200	NO	500	NO	160	NO	350	NO		
Fósforo Total	mg/l	22	21	20	19	20,5	1,1	10	NO	15	NO	10	NO	15	NO		
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	57	37,5	39,8	40,5	43,7	7,8	50	SI	60	SI	50	SI	60	SI		
Nitratos	mg/l	15,4	15	14,9	13	14,6	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nitritos	mg/l	2,8	2,9	2,58	2,4	2,7	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-		
pH	mg/l	9,8	10,6	9,9	9,8	10,0	0,3	6-9	NO	6-9	NO	5-9	NO	5-9	NO		
Sólidos Suspendidos	mg/l	1250	1035	1420	1200	1226,3	137,3	130	NO	220	NO	100	NO	120	NO		
Sólidos Disueltos	mg/l	1950	2000	1804	1746	1875,0	103,6	-	-	-	-	-	-	-	-		
Sólidos Totales	mg/l	3250	3100	3226	2960	3134,0	115,5	1600	NO	1600	NO	1200	NO	1200	NO		
Temperatura	°C	35,45	36,60	33,35	32,48	34,5	1,6	<40	SI	<40	SI	<40	SI	<40	SI		

$$\bar{x} (n = 4)$$

En vista a que la desviación estándar del parámetro aceites y grasas es considerable, se procedió a realizar la prueba Q a los resultados cuestionables (color amarillo), descrita en la metodología. El valor de Q fue de 0,49, que al compararla con el valor establecido en la Tabla 12 se encuentra dentro del rango establecido 0,76. Es decir, el valor no se rechaza y debe de ser considerado para el análisis. El cálculo realizado se presenta en el Anexo V.

En la Tabla 33, se presentan los resultados promedios de la caracterización física y química realizada, que al compararlos con las normas TULSMA y NT002 se obtuvo que los parámetros: DBO₅, DQO, fósforo total, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y pH, sobrepasan los límites máximos para la descarga directa a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado. Mientras que la temperatura, Nitrógeno Total Kjeldahl y aceites y grasas cumplen con los límites de descarga.

Como se observa en la Tabla 33, las concentraciones del parámetro aceites y grasas presentaron variaciones considerables en los 4 días de muestreo, es decir, la variación en las concentraciones se debe a que las características del agua varían considerablemente de una jornada a otra. Por lo cual se procedió a tomar nuevamente las muestras del día miércoles y jueves, de las cuales se obtuvieron resultados similares a los que se muestran en la Tabla 33, lo que hace que se acepten como verdaderos los resultados obtenidos. La menor concentración se presenta el día jueves, y la máxima el día lunes.

Los resultados obtenidos comprueban que las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por presentar elevadas concentraciones de materia orgánica, así como sólidos. Las concentraciones de los parámetros analizados se deben a que el afluente se compone de los derrames de leche que aportan grandes concentraciones de materia orgánica, así también, el agua de lavado de equipos e instalaciones se relacionan con las concentraciones de grasas, nitrógeno, fósforo, variaciones de pH y temperatura (Villena, 1995). Al comparar los resultados de la caracterización física y química del afluente con resultados de estudios relacionados a los vertidos del sector lácteo presentados por la Escuela Organización Industrial (2008), Gaibor (2016) de ciertos parámetros físicos y químicos como: pH: 8,5, DQO: 4000,0 mg/l, DBO₅:1750,0 mg/l, SST: 825,0 mg/l, NTK: 100,0, Nitratos: 90,0, Nitritos: 0,2, Aceites y grasas: 112,0 mg/l, se tiene una base de las concentraciones para este tipo de agua. Es decir, las concentraciones obtenidas de los parámetros físicos y químicos del agua residual de la industria láctea de estudio, se encuentran dentro de las concentraciones de los estudios mencionados y permiten tomar los resultados como verdaderos y no como resultados exagerados.

Si el afluente de la industria láctea de estudio, con las concentraciones de contaminantes que presenta son vertidas a un cuerpo de agua, contribuirá a que la capacidad de asimilación de contaminantes de éste decrezca, se reduzca la calidad y su aptitud para usos benéficos por parte del hombre. Así también, las concentraciones podrían alterar las condiciones óptimas de trabajo del sistema de alcantarillado, por lo cual se imponen normas para asegurar una eficiencia aceptable para el sistema de tratamiento municipal. Es así que, el objetivo de éstas regulaciones es controlar las descargas de aguas residuales industriales y proteger el sistema de alcantarillado, planta de tratamiento individual y cuerpos de agua (Romero, 2004).

En la Tabla 34, se presentan los resultados de la caracterización física y química del efluente. El color rojo representa el incumplimiento de los parámetros respecto a las normas.

Tabla 34. Caracterización física y química de las muestras de agua del efluente de la industria láctea

Parámetro	Unidad	SEMANA 1						SEMANA 2		Límites de descarga							
		lunes		miércoles		martes		jueves		TULSMA LIBRO VI, ANEXO I				NT002			
		Promedio \bar{x}	Desviación estándar σ	Agua dulce	Cumple	Alcantarillado	Cumple	Agua Dulce	Cumple	Alcantarillado	Cumple						
Aceites y grasas	mg/l	2,8	2	2	2	2,2	0,3	30	SI	70	SI	30	SI	70	SI		
DBO5	mg/l	192	220	224	180	197,5	14,8	100	NO	250	SI	100	NO	170	NO		
DQO	mg/l	300	350	320	280	312,5	25,9	200	NO	500	SI	160	NO	350	SI		
Fósforo Total	mg/l	8,2	8,3	8,0	8,0	8,1	0,1	10	SI	15	SI	10	SI	15	SI		
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	1,5	12	11,3	5,3	7,5	4,3	50	SI	60	SI	50	SI	60	SI		
Nitratos	mg/l	2	5	5	3	3,8	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nitritos	mg/l	1,4	1,5	1	1,2	1,3	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-		
pH	mg/l	8,2	8,0	7,7	8,1	8,0	0,2	6-9	SI	6-9	SI	5-9	SI	5-9	SI		
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	180	192	224	200	199,0	16,1	130	NO	220	SI	100	NO	120	NO		
Sólidos Disueltos	mg/l	1100	1450	1230	1000	1195,0	168,3	-	-	-	-	-	-	-	-		
Sólidos Totales	mg/l	1350	1600	1450	1250	1412,5	129,3	1600	SI	1600	SI	1200	NO	1200	NO		
Temperatura	°C	25,15	25,50	25,23	25,12	25,3	0,1	<40	SI	<40	SI	<40	SI	<40	SI		

$$\bar{x} (n = 4)$$

En vista a que la desviación estándar del parámetro Nitrógeno Total Kjeldahl resulta ser considerable, se procedió a realizar la prueba Q a los resultados cuestionables (color amarillo), descrita en la metodología. El valor de Q fue de 0,36, que al compararla con el valor establecido en la Tabla 12. se encuentra dentro del rango establecido 0,76. Es decir, el valor no se rechaza y debe de ser considerado para el análisis. El cálculo realizado se presenta en el Anexo V.

Los resultados promedios de los parámetros físicos y químicos analizados, al ser comparados con las normas: TULSMA y NT002 se obtuvo que los parámetros: Aceites y grasas, Fósforo total, Nitrógeno Total Kjeldahl, pH y temperatura, cumplen con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado. Se observa también que:

- La DBO₅ cumple con los límites de descarga al sistema de alcantarillado, pero sobrepasa los límites de descarga a un cuerpo de agua, establecidos en el TULSMA, mientras que al compararlo con la norma NT002 excede los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado.
- El parámetro DQO cumple con los límites de descarga al sistema de alcantarillado establecidos en las normas TULSMA y NT002, sin embargo, sobrepasa los límites de descarga a un cuerpo de agua.
- Los sólidos suspendidos totales cumplen con el límite de descarga al sistema de alcantarillado establecido en el TULSMA, pero excede el límite de descarga a un cuerpo de agua. Mientras que al compararlo con la norma NT002 este sobrepasa los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado.
- Finalmente se tiene que las concentraciones de sólidos totales al ser comparado con el TULSMA, cumplen con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado, mientras que al compararlo con la norma NT002, excede los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado.

A continuación, para un mayor entendimiento se presentan las Figuras 17, 18, 19 y 20 con los parámetros físicos y químicos que exceden los límites de descarga establecidos en las normas.

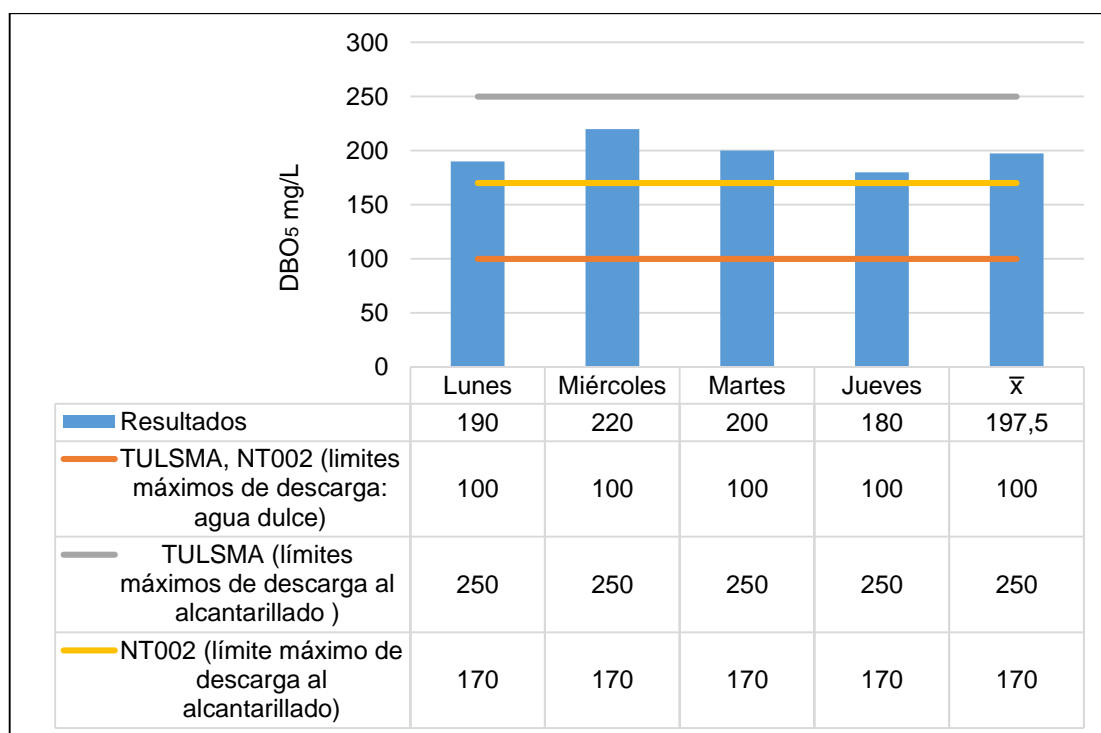
DBO₅

Figura 17. DBO₅ - Límites de descarga establecidos en las normas

El valor promedio de DBO₅, 197,5 mg/l, al ser comparado con la norma NT002 y TULSMA excede en un 97,5% el límite de descarga a un cuerpo de agua. Así también, al compararlo con el límite de descarga al sistema de alcantarillado, se obtuvo que para la norma NT002 sobrepasa en un 16,2% el límite, mientras que para la norma TULSMA, éste se encuentra dentro del límite de descarga.

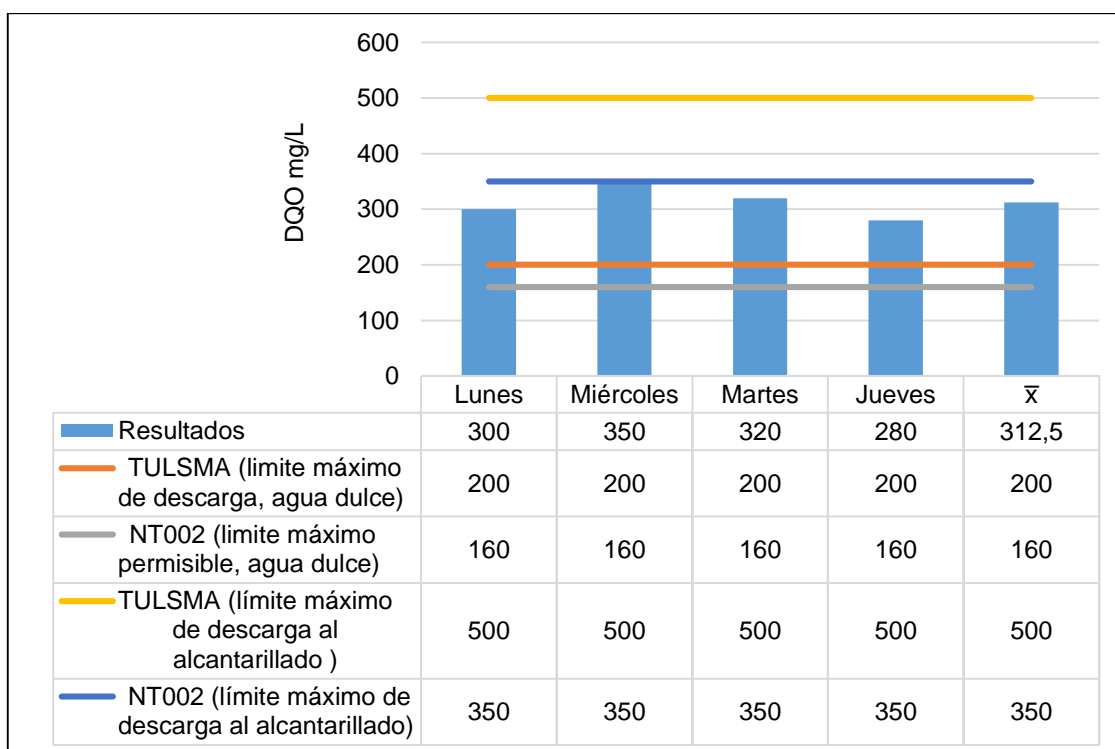
DQO

Figura 18. DQO - Límites de descarga establecidos en las normas

El valor promedio de DQO, 312,5 mg/l, al ser comparado con la norma TULSMA y NT002, sobrepasa en un 56,3 y 95,3% los límites de descarga a un cuerpo de agua. A su vez, al comparar con los límites de descarga al sistema de alcantarillado éste cumple con los límites establecidos en las normas.

A pesar de que el afluente es sometido a un sistema de tratamiento, existe déficit en la degradación de la materia orgánica expresada como: DBO₅ y DQO. Las concentraciones de materia orgánica presente en el efluente se relacionan con las variaciones de las características de funcionamiento del tratamiento biológico (lodos activados), tiempo de aireación mayor a 5 horas, tiempo de retención y relación A/M mayor a 0,6. Las variaciones mencionadas, contribuyen a la formación de floc disperso y de difícil sedimentación y resulta en la fuga de este a la última unidad de tratamiento (tanque de cloración). Con el transcurso de tiempo y la falta de limpieza continua, el lodo se acumulará en el tanque de cloración, lo que resultará en un efluente con presencia de sólidos, color y concentración de materia orgánica que incumplen con los límites de descarga establecidos en las normas. Al existir materia orgánica en contacto con el cloro

puede llevar a la formación de trialometanos (THM), considerados como compuestos tóxicos que afectan la salud humana; relacionados con el cáncer de vejiga y defectos en el nacimiento, pueden incorporarse al cuerpo humano a través de la ingesta, inhalación de los THM evaporados y absorción dérmica (Romero, 2002). Así también, la concentración de materia orgánica mayor al establecido para el diseño 600 y 2000 mg/l de DBO₅ y DQO (Hidrotecnología, 2012), conlleva a que la unidad de tratamiento destinada para la degradación de la materia orgánica no funcione correctamente.

Romero (2004) menciona que si se excede la capacidad de tratamiento por carga o concentraciones de contaminantes, el sistema de tratamiento entra en dificultades operacionales, reduce su capacidad de remoción y producirá un efluente inferior al establecido en las normas, tal cual es el caso de la PTAR de estudio, que al exceder las concentraciones de carga orgánica y existir variaciones en las características de funcionamiento, el sistema entra en dificultades y reduce su capacidad de tratamiento, que resultan en un efluente inferior al establecido en las normas que controlan las descargas.

Sólidos Suspendidos totales

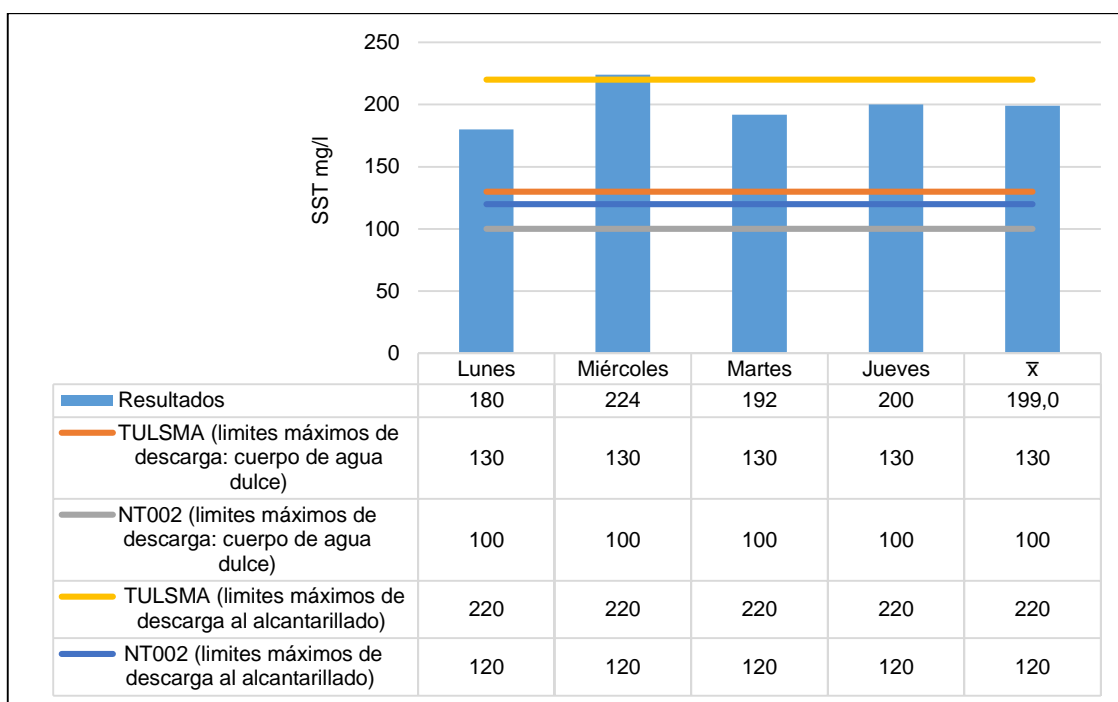


Figura 19. Sólidos suspendidos totales- Límites de descarga establecidos en las normas

El valor promedio de SST, 199 mg/l, al ser comparado con la norma TULSMA y NT002, sobrepasa en un 53,1 y 99,0% los límites de descarga a un cuerpo de agua. A su vez, al comparar con los límites de descarga al sistema de alcantarillado se obtuvo que éste excede en un 65,8% respecto a la norma NT002, mientras que al compararlo con la norma TULSMA, éste cumple el límite de descarga.

Sólidos Totales

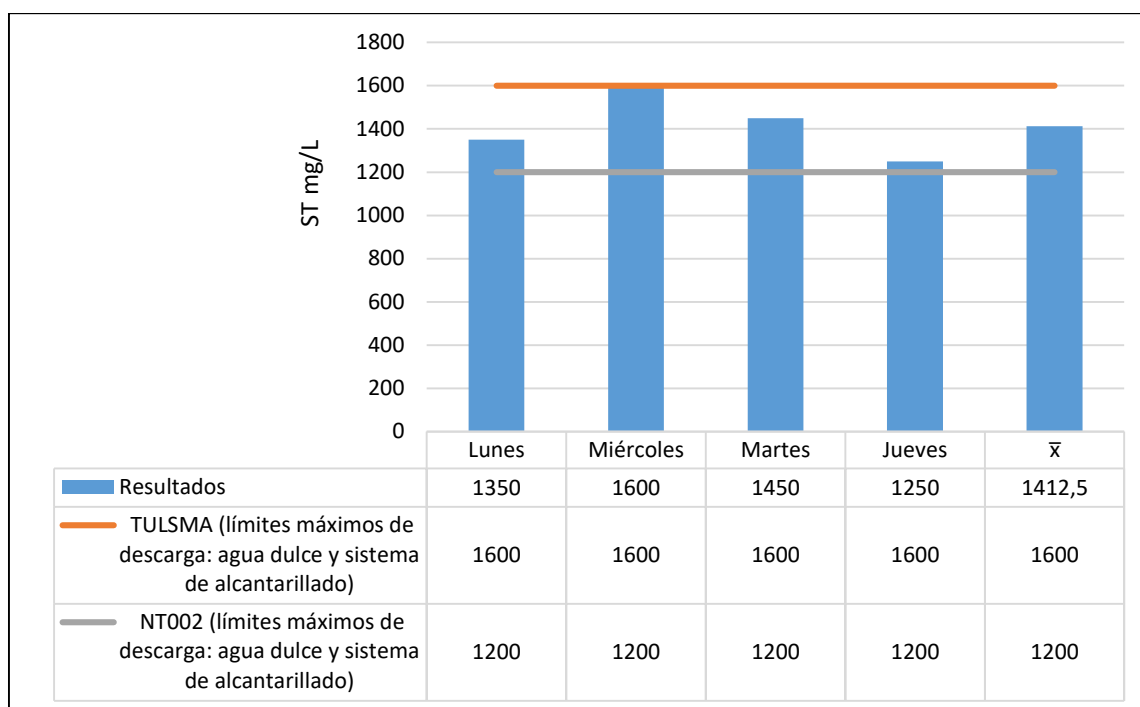


Figura 20. Sólidos totales - Límites de descarga establecidos en las normas

El valor promedio de ST de 1412,5 mg/l, al ser comparado con la norma TULSMA, cumple con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado. A su vez, al compararlo con la norma NT002, sobrepasa en un 15,0% los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado.

Las concentraciones de SST se relacionan con la fuga de lodo de los biorreactores hacia la cámara de cloración, que después de un tiempo se acumulan y resultan en un efluente con presencia de sólidos suspendidos mayor a los límites de descarga permisibles. Así también, la concentración de ST se asocia a las concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos. Es decir, de la Tabla 34, se observa que las concentraciones de sólidos disueltos aportan en un gran porcentaje la concentración de este parámetro, ya que éstos se asocian con material soluble (minerales de la leche) y coloidal (sólidos), y en vista a que el porcentaje de material soluble solo puede ser removido mediante tratamientos específicos; intercambio iónico, ósmosis inversa y filtración (Rigola, 1999; Romero, 2004).

En general se tiene que el efluente cumple en un 100% (9 parámetros normalizados) y en un 66,7% (6 parámetros normalizados) los límites de descarga al sistema de

alcantarillado y cuerpo de agua dulce establecidos en el TULSMA, mientras que para la norma NT002, cumple en un 66,7% (6 parámetros normalizados) y en un 55,6% (5 parámetros normalizados) los límites para la descarga al sistema de alcantarillado y a un cuerpo de agua dulce. Por la ubicación geográfica de la PTAR, la norma técnica NT002 es la primordial, por lo cual, respecto a la norma NT002, el efluente al ser descargado al sistema de alcantarillado, podría causar variaciones en las características de su funcionamiento. Es decir, los contaminantes presentes en el efluente podrían acumularse en el alcantarillado, producto de las concentraciones de DBO₅ (197,5 mg/l), DQO (312,5 mg/l), SST (199,0 mg/l) y ST (1412,5) y velocidades de flujo bajas, a su vez, el material acumulado tendería a degradarse lentamente por la presencia de las bacterias, lo que resultaría en la generación de vectores y olores (McGhee, 2001).

Así también, se desconoce si el efluente al ser transportado por el sistema de alcantarillado desemboca en una PTAR municipal o en un cuerpo de agua, por lo cual se determinó comparar las concentraciones del efluente con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el TULSMA y NT002. Es así que, si el efluente es vertido en un cuerpo de agua, ingresaría a la corriente lo que resultaría en la variación del balance natural de éste: alteración del pH, crecimiento acelerado de bacterias, que provoca agotamiento de las fuentes de oxígeno disuelto y reducirían la capacidad de asimilación de contaminantes. Es decir, el cuerpo receptor perderá la capacidad de recuperarse de forma natural por efecto de dilución, precipitación, aireación, oxidación bacterial y otros procesos naturales (McGhee, 2001).

En la Tabla 35, se presentan los resultados de la caracterización física y química de: la trampa de grasas, DAF y 2 biorreactores. Se descarta la comparación de éstos con las normas nacionales, ya que son unidades intermedias en el sistema de tratamiento y sus aguas no van a ser descargadas a un cuerpo de agua o a un sistema de alcantarillado, por lo cual, la comparación con normas no es posible. Sin embargo, los resultados de la caracterización física y química de las unidades de tratamiento mencionadas, resultados de sólidos disueltos, nitritos y nitratos, así como los resultados del afluente y efluente se emplearán para la evaluación de la eficiencia que se detallan la sección 4.5.

Tabla 35. Caracterización física y química de las muestras de agua tomadas a la salida de la trampa de grasas, DAF y 2 biorreactores

PRETRATAMIENTO							
TRAMPA DE GRASAS							
Parámetro	Unidad	Lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio	Desviación estándar σ
pH	---	9,6	10,5	9,5	9,4	9,8	0,4
SST	mg/l	950	800	1000	900	912,5	74,0
SDT	mg/l	1900	2000	1800	1746	1861,5	97,2
ST	mg/l	2900	2886	2800	2650	2809,0	99,5
Temperatura	°C	31,2	31,1	30,5	31,6	31,1	0,4
TRATAMIENTO PRIMARIO							
DAF							
Parámetro	Unidad	Lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio	Desviación estándar σ
Aceites y grasas	mg/l	7,5	3,5	6,5	18	8,9	5,5
SST	mg/l	151,0	170,0	190,0	166,0	169,3	13,9
SDT	mg/l	1000,0	1400,0	1200,0	900,0	1125,0	192,0
ST	mg/l	1300,0	1600,0	1400,0	1100,0	1350,0	180,3
pH	---	8,6	8,5	8,3	8,6	8,5	0,1
Temperatura	°C	30,0	28,0	30,0	29,0	29,3	0,8
TRATAMIENTO SECUNDARIO							
BIORREACTOR 1							
Parámetro	Unidad	Lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio \bar{x}	Desviación estándar σ
DBO ₅	mg/l	200,0	220,0	170,0	190,0	195,0	18,0
DQO	mg/l	319,0	330,0	320,0	300,0	317,3	10,8
P TOTAL	mg/l	8,3	8,5	8,1	7,5	8,1	0,4
pH	---	8,1	8,3	7,7	8,1	8,1	0,2
Temperatura	°C	25,6	25,3	24,7	25,6	25,3	0,3
BIORREACTOR 2							
Parámetro	Unidad	Lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio \bar{x}	Desviación estándar σ
DBO ₅	mg/l	180,0	200,0	190,0	170,0	185,0	11,2
DQO	mg/l	302,0	310,0	300,0	290,0	300,5	7,1
P TOTAL	mg/l	8,0	8,3	8,3	8,3	8,2	0,1
pH	---	8,1	8,1	7,6	8,2	8,0	0,2
Temperatura	°C	25,7	24,6	24,7	25,6	25,1	0,5

\bar{x} ($n = 4$)

En vista a que la desviación estándar del parámetro aceites y grasas de la unidad DAF resulta ser considerable, se procedió a emplear la prueba Q a los resultados cuestionables (color **amarillo**), descrita en la metodología. El valor de Q fue de 0,72, que al compararla con el valor establecido en la Tabla 12, se encuentra dentro del rango establecido 0,76. Es decir, el valor no se rechaza y debe de ser considerado dentro del análisis correspondiente. El cálculo de la prueba Q se presenta en el Anexo V.

4.5. Evaluación de la eficiencia de las unidades de tratamiento y de la PTAR en general

La evaluación de la eficiencia de las unidades de tratamiento (trampa de grasas, DAF y 2 biorreactores) y de la PTAR en general (afluente y efluente), fue en base al cálculo del porcentaje de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos y químicos analizados, a través de la Ecuación 3, descrita en la Metodología.

4.5.1. Porcentaje de eficiencia de remoción en general de la PTAR

En la Tabla 36 se presentan los promedios de los resultados de la caracterización física y química (afluente y efluente) y porcentajes de eficiencia de remoción de cada parámetro.

Tabla 36. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físicos y químicos de la PTAR en general

Parámetro	Unidad	Afluente \bar{x}	Efluente \bar{x}	%Eficiencia de remoción
Temperatura	°C	36,1	25,3	---
pH	---	10,0	8,1	---
Aceites y grasas	mg/l	29,9	2,2	92,6
DBO ₅	mg/l	1065,0	197,5	81,5
DQO	mg/l	2147,5	312,5	85,4
P Total	mg/l	20,5	8,1	60,4
NTK	mg/l	43,7	7,5	82,8
Nitratos	mg/l	14,6	3,8	74,3
Nitritos	mg/l	2,7	1,3	52,2
SST	mg/l	1226,3	199,0	83,8
SDT	mg/l	1875,0	1195,0	36,3
ST	mg/l	3134,0	1412,5	54,9

En la Figura 21, se presentan los porcentajes de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos y químicos de la PTAR en general.

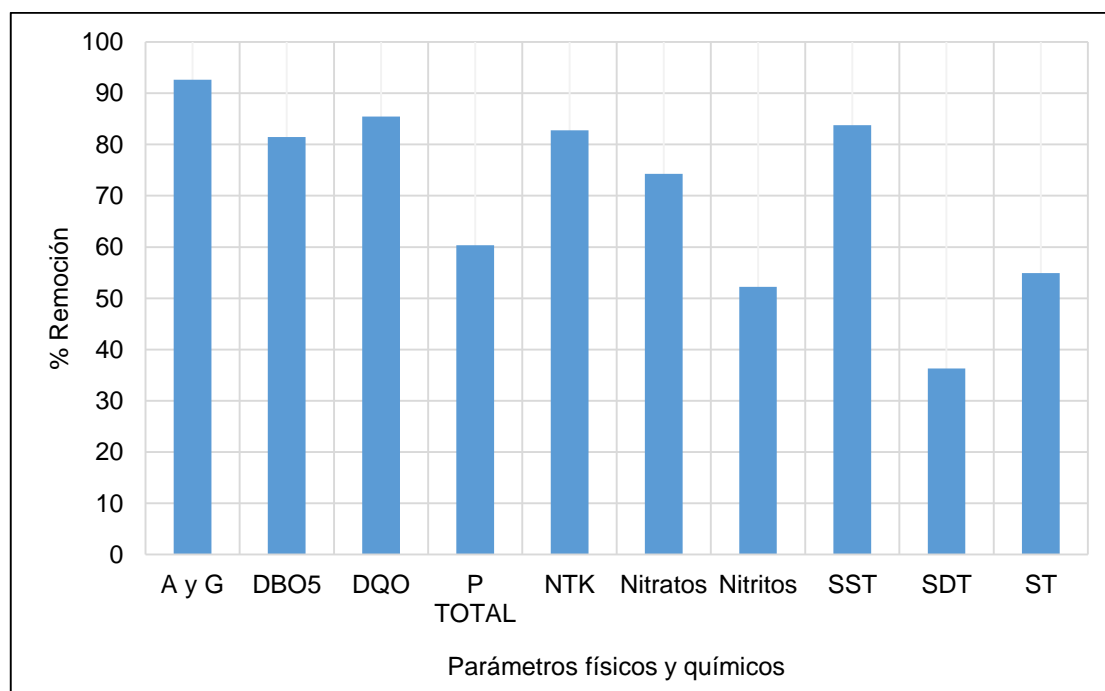


Figura 21. Porcentajes de eficiencia de remoción de la PTAR en general

El análisis de los resultados arroja que la temperatura y pH del efluente resultan ser adecuados ya que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites de descarga establecidos en las normas. Aunque los parámetros; DBO₅, DQO y SST, presentan altos porcentajes de remoción (81.5%, 85.4%, 83.8%), resultan ser insuficientes para el cumplimiento con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado establecidos en las normas.

A su vez, se observa que el porcentaje de remoción de SDT es del 36,3%, que, al no ser removido en un mayor porcentaje, contribuye con la concentración del parámetro físico, sólidos totales, el cual solo alcanza un 54.9% de remoción. Así también, se tiene que los porcentajes de remoción de: aceites y grasas (92,6%), fósforo total (60,4%) y nitrógeno total Kjeldahl (82,8%), son suficientes para el cumplimiento con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado establecidos en las normas.

Los parámetros de nitritos y nitratos fueron seleccionados dentro de la lista de análisis, debido a que no se tiene conocimiento si el efluente después de ser transportado por el sistema de alcantarillado desemboca a un cuerpo de agua, cuyo uso sea destinado para la preservación de la vida acuática, silvestre y consumo humano. Si fuera el caso, el porcentaje de remoción de nitritos sería insuficiente y resultaría peligroso para la salud, flora y fauna, según los límites de descarga establecidos en las Tablas 1 y 2 de la norma TULSMA.

4.5.2. Porcentaje de eficiencia de remoción de la Trampa de grasas

En la Tabla 37 se presenta los promedios de los resultados de la caracterización física y química (del afluente y la trampa de grasas) y porcentajes de eficiencia de remoción de cada parámetro.

Tabla 37. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físicos y químicos en la trampa de grasas

Parámetro	Unidad	Afluente \bar{x}	Trampa de Grasas \bar{x}	%Eficiencia de remoción
Temperatura	°C	36,1	31,1	---
pH	---	10,0	9,7	---
SST	mg/l	1363,5	912,5	25,6
SDT	mg/l	1978,6	1861,5	0,7
ST	mg/l	3249,5	2809,0	10,4

En esta unidad se omitió el análisis de aceites y grasas, debido a que la PTAR no cuenta con una unidad que reduzca la concentración de sólidos antes de que el afluente ingrese al sistema de tratamiento, por lo cual fue necesario el análisis de este parámetro. Sin embargo, el análisis de aceites y grasas es importante al tratarse de una industria láctea, por lo cual se decidió analizarla en la unidad de tratamiento (DAF) siguiente.

En el Figura 22, se presenta los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros físicos de la trampa de grasas

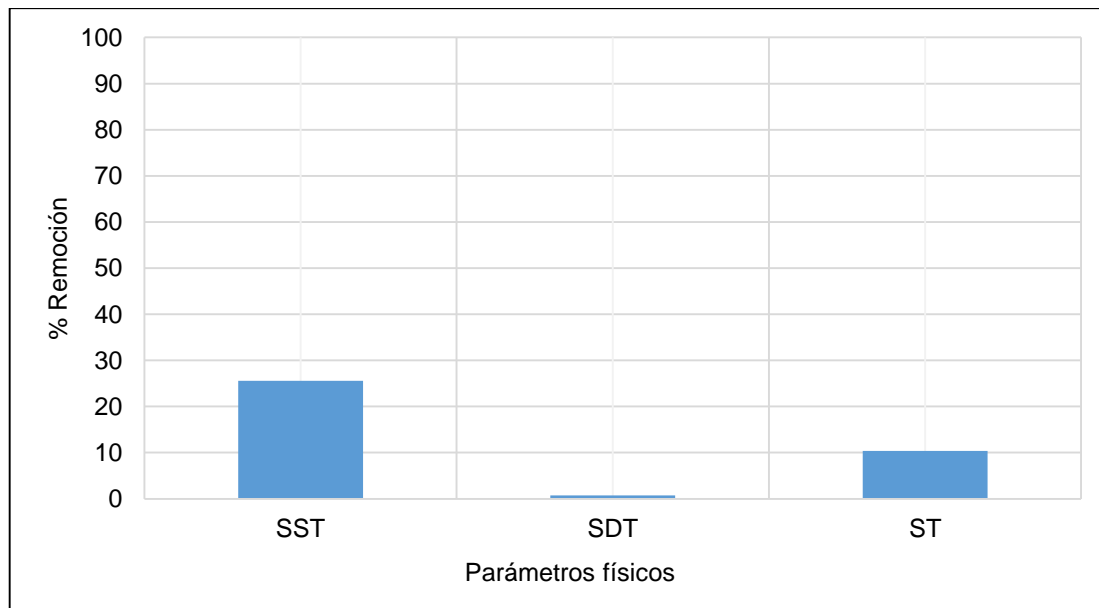


Figura 22. Porcentajes de eficiencia de remoción de la trampa de grasas

En relación al pH se aprecia que no existe una reducción considerable, resultando necesario regular éste a un rango óptimo de trabajo (7,5 a 8,5) mediante la adición de ácido nítrico. Así también, se observa que la temperatura decrece considerablemente.

Mientras que los SST y ST alcanzan un 25,6% y 10,4% de remoción, que resultan ser muy bajos en relación a las concentraciones iniciales de cada uno. Éstos se relacionan a las fallas de funcionamiento de la unidad, así también, se observa que el parámetro SDT presenta apenas una remoción del 0,7%, ya que éste solo puede ser removido mediante tratamientos específicos: coagulación química, sedimentación, ósmosis inversa y filtración, debido a que se compone de sólidos disueltos y coloidales, que contribuyen en la concentración de ST (2809,0 mg/l) (Romero, 2004).

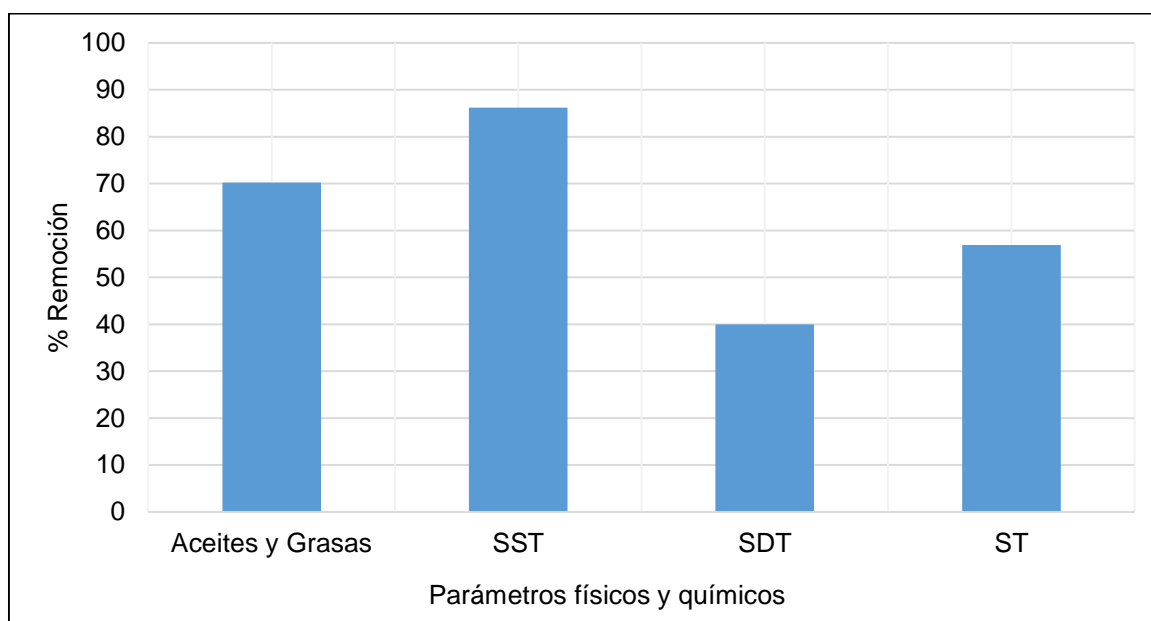
4.5.3. Porcentaje de eficiencia de remoción del DAF

En la Tabla 38 se presentan los promedios de los resultados de la caracterización física y química (del afluente y sistema DAF) porcentajes de eficiencia de remoción de cada parámetro.

Tabla 38. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físicos en el DAF

Parámetro	Unidad	Afluente \bar{x}	DAF \bar{x}	%Eficiencia de remoción
Temperatura	°C	36,1	29,3	---
pH	---	10,0	8,5	---
Aceites y Grasas	mg/l	29,9	8,9	70,2
SST	mg/l	1226,3	169,3	86,2
SDT	mg/l	1875,0	1125,0	40,0
ST	mg/l	3132,0	1350,0	56,9

En la Figura 23 se presentan los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros físicos del DAF.

**Figura 23. Porcentajes de eficiencia de remoción del DAF**

Los resultados que se presentan en la Tabla 38 y Figura 23 muestran que la temperatura decrece considerablemente mientras que el pH alcanza el rango óptimo de trabajo (7,5 a 8,5). Así también, los porcentajes de remoción de los parámetros aceites y grasas (70,2) y SST (86,2%) son aceptables, pero pueden aumentar si se emplean actividades de limpieza y así evitar la fuga de lodos en horas pico. Teóricamente se establecen rangos de remoción de 55 a 90% para aceites y grasas y de 70 a 95% para SST (Romero, 2004).

Los porcentajes de remoción de los parámetros restantes de la Tabla 38, no se establecen en Romero (2004). Sin embargo, se observa que el porcentaje de remoción

de ST alcanza un 56,9%, es decir, en esta unidad se reduce más de la mitad de la concentración inicial de este parámetro. Así también, en esta unidad se reduce en un 40,0% la concentración de SDT, que son los que contribuyen en la concentración de ST.

4.5.4. Porcentaje de eficiencia de remoción del Biorreactor 1

En la Tabla 39 se presentan los promedios de los resultados físicos y químicos de la caracterización (del afluente y biorreactor 1) y porcentajes de eficiencia de remoción de los contaminantes.

Tabla 39. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros químicos en el biorreactor 1

Parámetro	Unidad	Afluente \bar{x}	BIO1 \bar{x}	% Eficiencia de remoción
Temperatura	°C	36,1	25,3	---
pH	---	10,0	8,1	---
DBO ₅	mg/l	1065,0	195,0	81,7
DQO	mg/l	2147,5	317,3	85,2
P TOTAL	mg/l	20,5	8,1	60,5

En la Figura 24 se presentan los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros químicos del biorreactor 1.

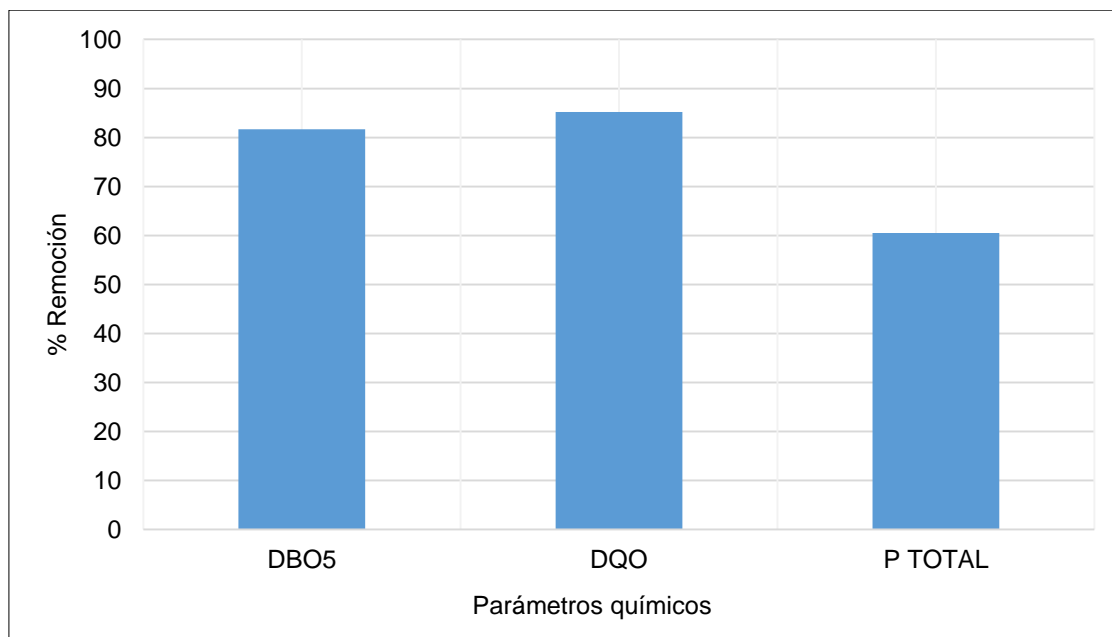


Figura 24. Porcentajes de eficiencia de remoción del biorreactor 1

Los resultados presentados en la Tabla 39 y Figura 24 reflejan que existe una elevada remoción de materia orgánica DBO₅ (81,7%) y DQO (85,2%), que resultan ser aceptables de acuerdo a los rangos de remoción establecidos en Romero (2004), de 80 a 95% para DBO y de 80 a 80% para DQO. Sin embargo, estos porcentajes no son suficientes para el cumplimiento con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado establecidos en las normas. Los resultados obtenidos se relacionan con las variaciones de las características de funcionamiento de la unidad. A su vez, el porcentaje de remoción de fósforo establecido en Romero (2004) es de 10 a 25%, en la Tabla 39, se observa que el fósforo total alcanza un porcentaje de remoción de 60,5% considerado aceptable ya que es suficiente para el cumplimiento con los límites de descarga establecidos en las normas.

4.5.5. Porcentaje de eficiencia de remoción del Biorreactor 2

En la Tabla 40 se presentan los promedios más la desviación estándar de los resultados físicos y químicos de la caracterización (a la salida del biorreactor 1) y porcentajes de eficiencia de remoción de los contaminantes.

Tabla 40. Porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros químicos en el biorreactor 2

Parámetro	Unidad	Afluente \bar{x}	BIO2 \bar{x}	% Eficiencia de remoción
Temperatura	°C	36,1	25,1	---
pH	---	10,0	8,0	---
DBO ₅	mg/l	1065,0	185,0	82,6
DQO	mg/l	2147,5	300,5	86,0
P TOTAL	mg/l	20,5	8,2	59,9

En la Figura 25 se presentan los porcentajes de remoción de los parámetros químicos del biorreactor 2.

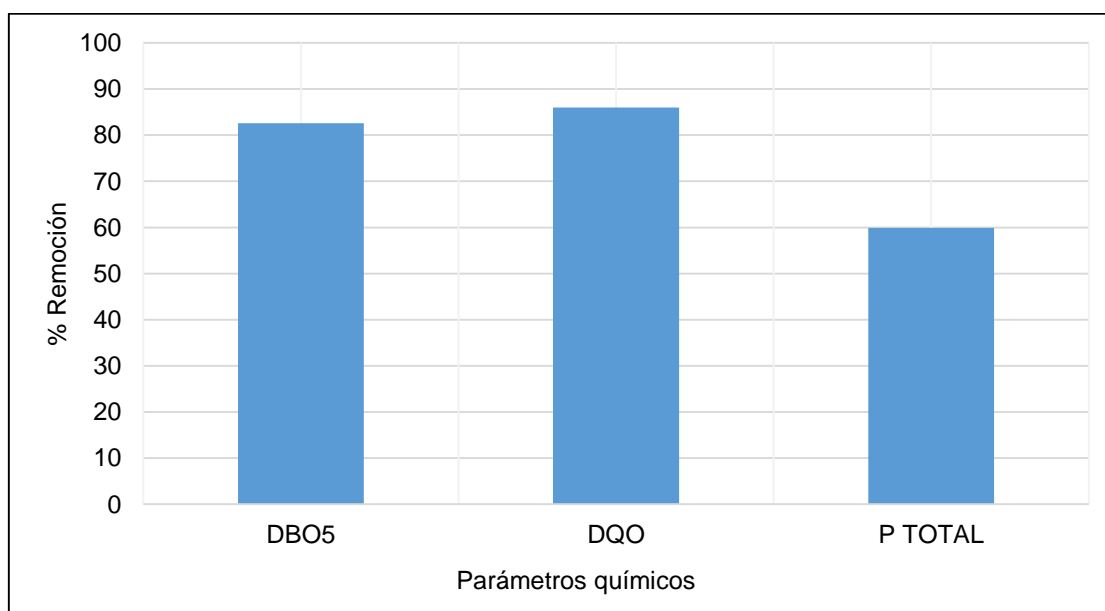


Figura 25. Porcentajes de eficiencia de remoción del biorreactor 2

Los resultados presentados en la Tabla 40 y Figura 25 reflejan que existe una elevada remoción de materia orgánica DBO₅ (82,6%) y DQO (86,0%) los cuales resultan ser aceptables de acuerdo a los rangos de remoción establecidos en Romero (2004), de 80 a 95% para DBO y de 80 a 95% para DQO. Sin embargo, estos porcentajes no son suficientes para el cumplimiento con los límites de descarga a un cuerpo de agua y sistema de alcantarillado establecidos en las normas. Se observa también, que la temperatura y pH del agua en los dos biorreactores se encuentra dentro del rango óptimo de trabajo que se establece en la literatura Romero (2004), de 25 a 35°C para la temperatura y de 6,0 a 9,0 para el pH. Los porcentajes de remoción de los parámetros

mencionados, se relacionan con las variaciones del funcionamiento de la unidad (concentración de materia orgánica superior al diseño, tiempo de aireación, relación A/S y recirculación de lodos) que resulta en la fuga de lodos a la última unidad de tratamiento, que hacen que exista una mayor concentración de estos parámetros en el efluente. A su vez, se observa que el fósforo total alcanza un porcentaje de remoción de 59,9% considerado aceptable ya que excede el rango establecido Romero (2004) de 15 a 25%, el cual resulta ser suficiente para el cumplimiento con los límites de descarga establecidos en las normas.

De los resultados obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes de la PTAR en general y unidades de tratamiento se tiene que los porcentajes que pueden ser comparados con bibliografía, se encuentran dentro de los rangos establecidos, sin embargo, no son suficientes para que el efluente de la PTAR cumpla con los límites de descarga que se establecen en las dos normas empleadas para el control de descargas: TULSMA y NT002, tomado mayor énfasis el control con la norma NT002, ya que la industria láctea se encuentra en el Cantón Quito.

La trampa de grasas es la unidad de tratamiento que alcanza porcentajes inferiores, los cuales se relacionan con las variaciones de funcionamiento de esta. Seguido, se tiene que el DAF remueve altos porcentajes de SST, pero en horas pico se evidencia fuga de lodos que contribuyen con las concentraciones de este parámetro. Los porcentajes de remoción pueden incrementarse si se emplean acciones de mejora en el funcionamiento de las unidades de tratamiento.

4.6. Aspectos de mantenimiento

La PTAR cuenta con un manual de operaciones, en el que se especifica algunos mantenimientos que se deben realizar a los componentes de ésta, a su vez, de la entrevista a los operarios y visitas técnicas se identificaron varias acciones de mantenimiento que deben de efectuarse en ciertas unidades de tratamiento que no se mencionan en el manual. El color celeste, representa las actividades de mantenimiento que deben de implementarse. En la Tabla 41, se presentan las actividades de mantenimiento que se emplean y deberían implementarse.

Tabla 41. Mantenimiento

Equipo	Mantenimiento	Periodo de mantenimiento	Acciones
Trampa de grasas	Correctivo	Cualquier instante de tiempo	Al existir desbordamiento de agua, se procede a desviar el agua al alcantarillado hasta realizar la limpieza de las planchas mediante agua a presión.
	Periódico	diario	<ul style="list-style-type: none"> - Mediante una pala se retira la capa de grasa acumulada. - Las láminas que dividen la trampa de grasas se retiran una a una y se remueve las partículas retenidas mediante agua a presión, realizar esta actividad cada 3 horas.
Tanque de homogenización	Correctivo	Cualquier instante de tiempo	Insuficiente regularización de pH, se procede a: <ul style="list-style-type: none"> - Desviar el agua al alcantarillado hasta que este se regule, durante 5 a 10 minutos. - Verter directamente ácido puro (1 o 2 canecas de 35 kg) antes de que el agua ingrese a la unidad de homogenización para alcanzar el pH óptimo de trabajo.
			diario
	Periódico	semanal	Realizar la limpieza interna del tanque mediante agua a presión
		mensual	Inspección del blower, rodamientos, etc. Limpieza de los filtros de los blowers mediante aire, para evitar su taponamiento.
DAF	Periódico	diario	Verificar que no exista acumulación de lodos en las canaletas de transporte del agua hacia la tubería de salida. De existir acumulación retirar estos mediante un recoge hojas.
		diario al finalizar el horario de operación de la PTAR	Limpieza y enjuague total del equipo con agua potable a presión para eliminar la capa de flotantes, purgar los lodos y evitar generación de olores, ésta actividad la realiza el personal de limpieza calificado de la industria.

TABLA 4.29. CONTINUACIÓN

Tanque de almacenamiento de agua del DAF	Periódico	diario	Verificar que no exista acumulación de lodos, de existir acumulación, retirar éstos con ayuda de un recoge hojas.
		semanal	Evacuar el agua y realizar la limpieza interna del tanque, mediante agua a presión
Filtro prensa	Periódico	Diario	Limpiar las lonas y placas
		semestral	Un técnico debe de realizar el chequeo de la bomba, lubricación y ajustes necesarios
Sistema de lodos activados	Periódico	diario	Mediante palas, baldes o un recoge hojas retirar el lodo suspendido que se acumula en la superficie del sedimentador. Realizar el test de sedimentación de lodos.
		Mensual	Verificar la concentración de oxígeno disuelto. Inspección del blower, rodamientos, manómetros, etc. - Limpieza de los filtros de los blowers mediante aire, para evitar su taponamiento.
Tanque de cloración	Periódico	diario	Verificar que no haya acumulación de lodos en esta unidad, de existir acumulación de lodo, retirar estos mediante un recoge hojas.
		semanal	Realizar la limpieza de la unidad mediante agua a presión, para evitar la generación de olores y un efluente con presencia de sólidos, color y turbiedad.
Bombas	Periódico	Diario	Verificar que no existan ruidos y calentamiento de las bombas. Verificar que no existe desgaste y suciedad en las carcasas de cada bomba.
		Semestral	- Evaluación del funcionamiento de cada bomba. - Lubricación

Fuente: (La Autora; Hidrotecnología, 2012)

De las visitas a la PTAR se identificó que los operadores durante la jornada de operaciones tienden a realizar actividades de emergencia o correctivas con la finalidad de contrarrestar las variaciones de funcionamiento de las unidades de tratamiento: trampa de grasas, tanque de homogenización y dos biorreactores. En el manual de operaciones de la PTAR se describen acciones de mantenimiento periódico a ciertas unidades, tanque de homogenización, DAF, 2 biorreactores y tanque de cloración. Sin

embargo, las acciones de mantenimiento periódicas no se emplean. Así también, de las visitas a la PTAR se identificó que no se describen acciones de mantenimiento correctivas ni preventivas para la trampa de grasas, filtro prensa y tanque de almacenamiento de agua tratada del DAF, que tienden a relacionarse a las variaciones de las características de funcionamiento de las unidades de tratamiento. Por lo cual, en la Tabla 41, se presenta las actividades de mantenimiento que se emplean y deberían implementar.

4.7. Recomendaciones técnicas de mejora

Trampa de grasas

- Se recomienda que se sellen las aberturas de los soportes de las planchas que dividen la unidad de tratamiento, ya que por estas existe fuga de agua, sólidos y aceites y grasas a las cámaras y unidad de tratamiento siguientes.
- A su vez, se recomienda que las planchas que presentan perforaciones en la parte inferior se eliminen y el espacio de 11 cm quede libre para la circulación del agua, ya que en la primera cámara existe acumulación de sólidos, aceites y grasas que pueden retornar a la tubería de entrada del agua. Así también, para la tercera plancha se recomienda perforar toda la plancha para que en esta sección se realice la retención de sólidos y la limpieza pueda ser más rápida y accesible.
- Se recomienda realizar una limpieza periódica para prevenir la fuga de cantidades apreciables de sólidos, aceites y grasas y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse en base a la observación. Generalmente la limpieza debe realizarse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención. Para retirar la acumulación de estos contaminantes es necesario sustituir la pala por otro instrumento que recolecte todo este material (recoge hojas adaptado a la problemática).
- La trampa de grasas no cuenta con tapas que eviten la fuga de olores y vapores hacia el exterior, por lo cual es recomendable instalar 2 tapas para cubrir la unidad de tratamiento, y así evitar contaminación visual y emisión de vapores y olores al exterior.

Tanque de homogenización

- Durante los tres meses de evaluación de la PTAR, se constató que el químico más empleado es el ácido nítrico, el consumo de este producto para la regularización del pH del agua es muy variable. Por lo cual, se recomienda reubicar una de las 2 mangueras de inyección de ácido y medidor de pH. Sería conveniente trasladar una manguera a la tubería de entrada del agua junto con el medidor de pH, y así garantizar la dosificación de ácido, además, la caída del agua (3,5 m altura del tanque) ayudará a que la homogenización sea más rápida. Así también, al ubicar la manguera de inyección a la entrada se cubrirá toda el área del homogenizador y no solo un área (parte final del tanque, junto a las bombas sumergibles).
- Es recomendable calibrar el medidor de pH ya que este desde el tiempo de construcción de la PTAR no registra ningún tipo de mantenimiento que garanticen que el equipo se encuentra en óptimas condiciones.

DAF

- Es recomendable controlar la variación de presión de trabajo en un rango de 50 a 90 psi. Sin embargo, Romero (2004) establece que 70 psi, es la presión típica de trabajo para este tipo de unidad. El cambio brusco de presión ocasiona variaciones de las características de funcionamiento de la unidad, genera una mezcla excesiva que resulta en la ruptura del floc formado y posterior fuga por los vertederos del cuerpo del DAF hacia las otras unidades de tratamiento.
- A su vez, es recomendable volver a instalar el material absorbente en la tubería de salida del agua, ya que éste impide la fuga de lodos a las unidades siguientes, contribuyendo así a la reducción de material en suspensión y materia orgánica.
- Así también, es fundamental y necesario implementar acciones de limpieza periódicas en las canaletas, para reducir la concentración de lodos en esta área.

Lodos Activados: Biorreactores

- La formación de floc disperso y acumulación de estos en la superficie de los sedimentadores se deben a las variaciones de las características de funcionamiento de los biorreactores: concentración de A/M, tiempo de aireación y falta de recirculación de lodos. Por lo cual se recomienda volver a instalar los paneles en los biorreactores, cuya presencia servirá para reducir la velocidad del agua y permitirá

- aumentar el tiempo de retención del agua con los microorganismos, ayudando así a la oxidación de un mayor porcentaje de materia orgánica.
- Así también, se recomienda calcular la concentración de lodos y en base a dicha información determinar el período y porcentaje de recirculación de lodos que debe de mantenerse en un rango del 25 al 100%, ya que al aumentar la recirculación disminuye la pérdida de sólidos en el efluente.
 - Para mejorar la sedimentabilidad del lodo que se acumula en la superficie de los sedimentadores, se recomienda añadir polímeros o coagulantes, solos o en combinación, al agua antes de que ingresen a estos, las dosis óptimas a emplearse deben ser en base a ensayos de jarras.
 - A su vez, para controlar la relación A/M, se recomienda aplicar cloro al retorno de lodos o al contenido del biorreactor, para reducir la población de microorganismos filamentosos. La dosis debe de calcularse en base a ensayos de tal forma que esta concentración solo afecte la concentración de los organismos filamentosos que se extienden en la superficie del floc, pero que no afecte a los organismos internos encargados de la degradación de la materia orgánica.
 - A la salida del agua de los biorreactores se recomienda implementar una unidad de filtración rápida, de un medio doble: arena, es el medio más utilizado, debe estar libre de mugre, ser dura y resistente a la abrasión, se prefiere de tipo cuarzo o cuarcita, el segundo medio antracita, es un tipo de carbón empleado en la remoción de turbiedad, color. Con la implementación de esta operación unitaria, se conseguirá una mayor eliminación de sólidos en suspendidos, color, olor (incluida la DBO particulada) de los efluentes provenientes de los procesos de tratamiento biológico y químico, también se emplea para la remoción del fosforo precipitado por vía química (Metcalf y Eddy, 1995) y así garantizar las condiciones del agua tratada, con el fin de poder reutilizar el agua dentro de las actividades internas de la industria láctea mas no dentro del proceso de producción.

Tanque de cloración

- Se recomienda programar acciones inmediatas de mantenimiento en la unidad y así evitar el paso y acumulación de lodos que resultan en un efluente inferior en la calidad establecida en las normas.

PTAR en general

- Una parte fundamental para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento son los programas de mantenimiento que se emplean. Por lo cual es recomendable que la PTAR establezca programas de mantenimiento preventivos, ya que durante el proyecto se observó fallas en estructuras y equipos de la PTAR, que si no son atendidas de inmediato causarían daños irreparables, resultando en gastos adicionales.
- Es indispensable que el personal a cargo del manejo y operación de la PTAR tenga conocimiento sobre las acciones y actividades que deben desempeñarse, por lo cual es necesario establecer programas de capacitación semestrales o anuales, con el fin de solventar dudas, fortalecer el conocimiento empírico del personal y garantizar el correcto funcionamiento de la PTAR.
- Se recomienda implementar equipos de laboratorio como: digestor, espectrofotómetro, material de vidrio, con el fin de determinar los parámetros de control: DQO, aceites y grasas, pH, cloro residual en cualquier instante de tiempo y así poder controlar la calidad del efluente.
- Se debe regular la dosis óptima de coagulante en base a pruebas de jarras y así establecer una dosis casi constante con el fin de mantener un consumo promedio del producto, ya que el costo de este es de 1 dólar/kg coagulante.

5. CONCLUSIONES

- La PTAR fue diseñada para tratar un caudal de 350 m³/d, asimilación de materia orgánica (DBO₅: 600 mg/l y DQO: 1200 mg/l), remoción de sólidos, aceites y grasas. Sin embargo, actualmente la planta trabaja con el 80% del caudal de diseño establecido. La reducción del caudal, puede atribuirse a cambios en los procesos internos de la empresa, recepta concentraciones promedio de materia orgánica de DBO₅ (1065,0 mg/l), y DQO (2147,5mg/l), mayores a lo establecido para su diseño.
- Mediante la caracterización física y química del efluente se determinó que las concentraciones de los parámetros como DBO₅ (197,5 mg/l), DQO (312,5 mg/l), SST (199,0 mg/l) y ST (1412,5 mg/l) exceden los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado y cuerpo de agua, establecidos en la Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas NT002 para la aplicación de la Ordenanza Metropolitana N°138 del Distrito Metropolitano de Quito.

- Así también, las concentraciones promedio de DBO₅ (197,5 mg/l), DQO (312,5 mg/l) y ST (1412,5 mg/l) superan los límites de descarga permisibles al sistema de alcantarillado, establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente TULSMA, se empleó el TULSMA ya que esta norma técnica se aplica a nivel nacional, y se la utilizó para relacionar esta con la norma NT002, siendo la de mayor aplicación por la ubicación geográfica la norma técnica NT002.
- Las características de funcionamiento de la trampa de grasas y porcentajes de remoción inferiores (25.6% SST, 0.7% SD y 10.4% ST) se relacionan con las fallas de la unidad: estructura de la unidad y la dificultad de emplear acciones de mantenimiento periódico debido al diseño de la unidad.
- El tanque de homogenización cumple con la regularización del caudal y pH. Sin embargo, en horas pico se dificulta la homogenización de pH, ya que las bombas dosificadoras del ácido resultan insuficientes para realizar la acción en dichos tiempos, lo que conlleva a que los operadores tengan que realizar actividades de emergencia para alcanzar el pH óptimo de trabajo.
- La unidad de flotación por aire disuelto, DAF, remueve el 86,2% de ST, además remueve porcentajes considerables de SDT (40.0%), ST (56.9) y A y G (70.2%). Estos porcentajes de remoción se relacionan con las variaciones de las características de funcionamiento de la unidad en horas pico (presión de trabajo de 80 psi) lo que conlleva a la ruptura del lodo formado ocasionando que este fugue o salga y se acumule en las canaletas de salida de la unidad, así también, la falta de acciones de limpieza facilita el transporte del lodo a las siguientes unidades de tratamiento.
- El tratamiento secundario, lodos activados presenta altos porcentajes de remoción de materia orgánica (81.7% DBO₅ y 85.2% DQO). Sin embargo, éstos no son suficientes para el cumplimiento con los límites de descarga que se establecen en las normas de control, el incumplimiento con los límites se asocia a las variaciones de las características de funcionamiento de la unidad debido al manejo, operación empírica y falta de actividades de mantenimiento.
- Las variaciones de las características de funcionamiento de las unidades: trampa de grasa, DAF, biorreactores y tanque de cloración, se relacionan con las actividades de operación y manejo a cargo de los operadores de la PTAR, ya que estos no poseen estudios de tercer nivel ni capacitaciones durante los dos años que llevan de operación relacionados con el tratamiento de aguas residuales lo que resulta en una operación empírica.
- Así también, las variaciones de las características de funcionamiento de las unidades de tratamiento se relacionan con la falta de programas de mantenimiento

preventivo de los equipos y unidades de tratamiento de la PTAR. La falta de mantenimiento preventivo ha llevado a que unidades de tratamiento tengan que salir de funcionamiento por un cierto tiempo hasta que sean reparadas para un funcionamiento correcto y seguro. Es así que, el filtro prensa al no haber recibido mantenimiento preventivo, tuvo que ser llevado a reparación, lo que generó gastos extras y el empleo de acciones de emergencia que sustituyan el uso de esta unidad sin afectar las condiciones de seguridad de la planta.

- El consumo de químicos para el tratamiento del agua residual no es constante y varía dependiendo de las características del agua. El ácido nítrico es el producto que se consume en mayor cantidad, y al no tener una homogenización adecuada en horas pico, el consumo de este incrementa considerablemente.
- Los operadores realizan el ajuste de la dosis de coagulante en base a la percepción, lo cual resulta en un incremento en el consumo y costo del tratamiento.
- Es imposible determinar la calidad del efluente en cualquier instante de tiempo, ya que la PTAR no cuenta con instrumentos, equipos de laboratorio y personal capacitado para el análisis In situ de los parámetros para el control del agua tratada; DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos, sólidos totales, fósforo, nitrógeno y aceites y grasas.
- Con los análisis realizados del agua tratada, se determinó la remoción de, DBO₅ (81,5%), DQO (85,4%), Fósforo total (60,4%), NTK (82,8%), Nitratos (74,3%), Nitritos (52,2%), A y G (92,6%), SST (83,8%), SDT (36,3%) y ST (54,9%). Por lo tanto, se deduce que la PTAR en general alcanza porcentajes considerables de remoción. Sin embargo, está no se encuentra funcionando con la eficiencia operacional para la que fue diseñada, ya que recibe concentraciones de materia orgánica superiores a las establecidas. Así también, el manejo y operación empírica de los operadores, falta de actividades de mantenimiento en las unidades de tratamiento, ha llevado a que estas varíen sus características de funcionamiento que se ven reflejadas en el incumplimiento con los límites de descarga de DBO₅, DQO, SST y ST establecidos en las normas.

6. RECOMENDACIONES

- La evaluación técnica desarrollada en el proyecto de titulación fue temporal y abarcó el tema operacional y funcionamiento en general de la PTAR y sus unidades de tratamiento seleccionadas, por lo cual se recomienda realizar un estudio referente

al diseño de las unidades de tratamiento de la PTAR y actividades internas de la industria láctea, con el fin de determinar las condiciones de operación y optimización de uso del agua en los diferentes procesos.

- Se recomienda realizar un estudio a fondo de las características físicas y químicas de los lodos generados en el sistema de tratamiento, de tal manera que se pueda establecer un tratamiento adecuado que permita su disposición final o sus posibles aprovechamientos.
- Así también, de la revisión del manual de operaciones se identificó la falta de información de ciertas unidades de tratamiento, para lo cual se recomienda realizar la actualización del manual teniendo en cuenta la información presentada en el proyecto.
- Es recomendable implementar medidores de flujo a la entrada del agua residual y salida del agua tratada, con el fin de determinar el caudal exacto a la entrada y salida del agua de la PTAR.
- Se debe tomar en cuenta la limpieza y mantenimiento que se debe dar a cada unidad de tratamiento, pues una gran acumulación de lodos afecta las condiciones de funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR.
- Se recomienda establecer programas de mantenimiento preventivo en los equipos e infraestructura del sistema de tratamiento, para salvaguardar y garantizar las condiciones óptimas de funcionamiento.
- Finalmente, es recomendable realizar un seguimiento de las acciones de mejora a implementarse en la PTAR.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alianza por el agua (2006). Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Recuperado de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf> (Noviembre, 2017).
- American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Pollution Control Federation (WPCF). (1992). *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (Traductor Bravo, Juan). Madrid, España: Díaz Santos
- Balladares, L. A. (2016). Plan de Manejo Ambiental para Agro Empresa “La Quesera” del cantón Colta. (Trabajo de grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

- Bonet , B., Dalmau, J., Gil, P., Gil, I., Juárez, M., Matia, P., & Ortega, R. (2009). *Libro Blanco de los Lácteos*. (1ra. Ed.). Madrid.
- Buenaño, M. (2015). Propuesta de una Planta de Tratamiento de Aguas de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental (TULSMA). (Trabajo de grado). Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Caballero Trujillo, Y., Pedraza Mendoza, M., & Rojas Cuellar, J. (2015). Contaminación de Efluentes Líquidos en la Industria Láctea. Recuperado de <http://www.dui.uagrm.edu.bo/Informacion/ProyectosIDH/cuaderno3.pdf> (Julio, 2017).
- CANILEC. (2011). *El Libro Blanco de la leche y sus productos lácteos*. (1ra. Ed.). México
- CAPEIPI. (2013). Análisis Información Censo 2013. Quito.
- Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones [ProEcuador]. (2016). Perfil Sectorial de Lácteos y Cárnicos. Recuperado de: https://www.proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2016/07/proec_psi2016_lacteos.pdf (Octubre, 2017).
- Da Cámara, L., Hernández, M., y Paz, L., (2011). Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias. <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Mandisplatraaguresaliar.pdf> (Noviembre, 2017).
- Escuela Organización Industrial (abril 2008). Los vertidos del sector lácteo. Recuperado de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48159/componente48157.pdf (Enero, 2018)
- García Paniagua, C., & Fonseca Martínez, J. (2015). Evaluación Técnica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Quinta Brasilia”. (Trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- HACH (2000). *Manual de análisis de agua*. Colorado, Estados Unidos: HACH COMPANY
- HIDROTECNOLOGÍA. (2012). Manual de Operación y Mantenimiento, Sistema de Tratamiento de aguas residuales.
- Hcingenieros. (Marzo, 2014). Manual de operación, mantenimiento y control de la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad tecnológica de Pereira. Recuperado de:

<http://www.utp.edu.co/cmsutp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/1480454882INSTRUCTIVO%20DE%20OPERACION.pdf> (Octubre, 2017) .

- INEC. (Febrero, 2014). *Ecuador en cifras*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/directorio-de-empresas-un-paso-mas-para-un-futuro-sin-censos/> (Septiembre, 2017).
- INEN (1998). NTE INEN 2176 (1998): Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. Quito, Pichincha, Ecuador
- INEN (1998). NTE INEN 2169 (1998): Agua. Calidad del Agua. Muestreo, Manejo y Conservación de muestras. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN (2000). NTE INEN 2266 (2000): Agua. Calidad del Agua. Muestreo, Diseño de los programas de muestreo. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Isch, E. (2011). *Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla*. (1ra. Ed). Quito, Ecuador: Foro de los Recursos Hídricos.
- Kiely, G. (1999). *Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. (1ra. Ed.). Madrid, España: McGRAW-Hill Interamericana.
- Londoño, A, Giraldo, G y Gutiérrez, G (2010), *Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua*, Editorial Blanecolor, (1ra ed). Colombia
- Licto, M. (2017). Evaluación de un proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria láctea. (Trabajo de grado). Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Mena, D. (2012). El proceso productivo y su incidencia en el desperdicio de la materia prima en la industria láctea Parmalat del Ecuador S.A. (Trabajo de grado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Metcalf, L. & Eddy, M. (1995). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. (3ra. ed.). Madrid, España: McGraw Hill
- Metcalf, L. & Eddy, M. (2004). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. (3ra. ed.). Madrid, España: McGraw Hill
- Ministerio del Ambiente (Noviembre, 2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf> (Octubre, 2017).
- Ministerio de Desarrollo Económico [MinDesarrollo]. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000 sección II título E. Tratamiento de aguas residuales. Recuperado de:

- http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e.pdf (Enero, 2018).
- McGhee, T (2001). Abastecimiento de agua y alcantarillado: Ingeniería Ambiental. (6ta. ed.). Santafé de Bogotá, McGRAW- HILL INTERAMERICANA, S.A.
 - Orozco, A. (septiembre, 2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. (1ra. Ed.). Bogotá, Colombia: Acodal.
 - Piragua Corantioquia (2016). Manual Perigüero, medición del caudal. Recuperado de: http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3_Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf (septiembre, 2017).
 - Ramalho, R (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, España: Reverté S.A.
 - Ramirez, E. (2004). Fundamentos teóricos de lodos activados y aireación extendida. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/1Fundamentosdelprocesodelodosactivados.pdf>(Octubre, 2017)
 - Real, L. (2013). Industria láctea con mejores condiciones de producción. Recuperado de http://www.revistagestion.ec/wpcontent/uploads/2013/08/226_Industrial%C3%A1ctea.pdf. (Julio, 2017).
 - Rigola, M. (1999). *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y Residuales*. Barcelona, España: Alfaomega marcombo.
 - Secretaria del Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito [MDMQ] (2016). Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas [NT002]. Recuperado de <http://www.chavezolutions.com/archivos/ordenanza-metropolitana-no-138/16-7-nt002/file.html> (Octubre, 2017).
 - Romero, J. (febrero, 2004). Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. (3ra. ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
 - Romero, J. (noviembre, 2002). Calidad del Agua: Análisis Químico del Agua. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
 - Spena Group, (2014). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*[Fotografía]. Recuperado de: <http://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>
 - Villena, L. (diciembre, 1995). Anales de la Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental: Contaminación de Industrias Lácteas. (Vol. 8). ACVAO
 - Vizcarra, R. (2015). Historia de la lechería ecuatoriana. Quito, Ecuador: Efecto Studio.

8. ANEXOS

ANEXO I:
TABLAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE VISITAS Y ENCUESTA A LA
PTAR

TABLA I. VISITA DE INSPECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE LA PTAR

Inspección e Identificación de las unidades de tratamiento de la PTAR			
Fecha de visita	7 al 8 de agosto del 2017		Responsable
Visita	Planta de tratamiento		Ubicación
Objetivo de la visita	Identificación de las unidades de tratamiento de la PTAR		
	COMPONENTES		OBSERVACIONES
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Tratamiento del afluente		La industria láctea, responsable de sus aguas residuales ha invertido en la implementación de una PTAR: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario
	Horarios de funcionamiento		La PTAR opera de lunes a sábado, durante 16 horas cada día
	Manual de operación de la PTAR		El manual se encuentra incompleto, falta información referente a las características de operación de las unidades, programas de mantenimiento preventivo para equipos y unidades de tratamiento
	Planos de la PTAR		Cuentan con planos
	personal		En la PTAR laboran cinco personas: 4 operarios y un ingeniero
	Certificado de competencia laboral de los operarios		Dos de cuatro operarios presentan experiencia en el manejo de éste tipo de plantas de tratamiento
	Bombas dosificadoras		Las bombas se encuentran en funcionamiento, no se evidencian fallas ni daños. son reguladas de forma manual, la PTAR cuenta con: <ul style="list-style-type: none"> - 2 bombas dosificadora de ácido nítrico - 1 bomba dosificadora de coagulante (polícloruro de aluminio) - 1 bomba dosificadora de floculante (ayudante de coagulación) - 1 bomba dosificadora de cloro
	Bombas de transferencia		existen 4 bombas: <ul style="list-style-type: none"> - 2 ubicadas en el tanque de homogenización y - 2 ubicadas en el tanque de almacenamiento del agua después del DAF
	Medidor de caudales		No presenta daños, se encuentran a la entrada, DAF y 2 biorreactores
	Sistema de purga		Funcionamiento automático y manual, ubicados en el DAF y biorreactores
	Pretratamiento: trampa de grasas		Se encuentra dividida en cuatro cámaras, mediante planchas de acero inoxidable, ésta presenta fuga de agua, sólidos y aceites y grasas, a través de aberturas en los soportes de las planchas
	Tratamiento primario	Tanque de homogenización	
Flotación por aire disuelto (DAF)		Construido de acero inoxidable, antes de que el agua ingrese a la unidad, pasa por un floculador hidráulico en el que se inyecta coagulante y floculante, la limpieza del DAF es cada día al finalizar la operación	

TABLA I. CONTINUACIÓN

	Terciario:	Tanque de espesamiento de lodos	Dos tanques de PVC, capacidad de 2,5 m ³ , se elimina la generación de olores del lodo mediante cal y se espesa con floculante.
	Terciario:	Filtro prensa	Su funcionamiento es tipo Bach, la mezcla de lodo espeso se bombea al filtro prensa, la presión de trabajo debe ser mayor a 3000psi. después de un periodo de tiempo el lodo compacto se retira de forma manual con ayuda de una espátula, se almacenan en costales de 25 kg hasta que el gestor calificado acuda a su transporte y disposición final.
	Secundario: Tratamiento Biológico:	Lodos activados	Existen dos biorreactores que funcionan en paralelo, son de forma rectangular y están contruidos en acero inoxidable, la inyección de aire se da mediante difusores
	Terciario:	Cámara de cloración	Es un tanque rectangular de hormigón , al cual, mediante gravedad se transporta el agua después del tratamiento biológico y mediante una bomba dosificadora se inyecta hipoclorito de sodio al 10%

TABLA II. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y EVALUACIÓN GENERAL DE LA PTAR Y UNIDADES DE TRATAMIENTO

VISITAS A LA PTAR DE LA INDUSTRIA LÁCTEA					
Fecha de visita	21 al 25 de agosto del 2017	Responsable		La Autora	
Visita	Planta de tratamiento	Ubicación		Cantón Quito	
ÍTEM	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE	OBSERVACIONES
EXTERIOR					
Generación de olores y vectores				x	El lodo generado del sistema de tratamiento se espesa con cal para la mitigación de olores, además, la limpieza continua de la PTAR y disposición de estos impide la proliferación de vectores
DOCUMENTOS					
Manual de operaciones		x			Presentan un manual de operaciones y mantenimiento incompleto, falta información de características de operación
Certificados académicos de los operarios	x				Los operarios poseen conocimiento sobre el manejo de plantas de tratamiento, pero no poseen certificados académicos que avalen dicha información.
Planos de la PTAR			x		Cuenta con planos
FUNCIONAMIENTO					
Medidor de caudales				x	No presentan daños, funcionamiento continuo
Trampa de grasas	x				Presenta aberturas en los soportes que sostienen las planchas de acero inoxidable, en horas pico existe desbordamiento de agua hacia las cámaras siguientes causado por el taponamiento de las perforaciones de 2mm de diámetro que constituyen las planchas que dividen la unidad. los operarios realizan la limpieza periódica de estas planchas, pero demanda de tiempo y personal, ya que es indispensable sacar la planchas y limpiarlas con agua a presión.
Tanque de homogenización			x		No presenta fallas, pero en horas pico el ajuste de pH es insuficiente, lo que conlleva a los operarios a realizar acciones de emergencia al menos dos veces al día
Sistema de aire disuelto (DAF)			x		No presentan daños, pero se observó fuga de lodo en horas pico, es decir, existe acumulación de lodo en las canaletas de salida, sin embargo, la unidad cumple con las características de operación establecidas en romero (2004), la acumulación de lodos se relaciona con la falta de acciones inmediatas de limpieza

TABLA II. CONTINUACIÓN

Tratamiento Biológico: Lodos Activados	Biorreactor aerobio 1		x			No presenta fallas en la estructuras, pero existe variaciones en las características de operación que se establecen en romero (2004) que pueden ser modificadas para un correcto funcionamiento
	Biorreactor aerobio 2		x			No presenta fallas en la estructuras, pero existe variación en las características de la operación que se establecen en romero (2004) pero pueden ser modificadas para un correcto funcionamiento
	Tanque decantador		x			Se evidencio falta de limpieza, ya que existe acumulación de lodos en la superficie y falta de recirculación de lodos de forma continua
Tanque de espesamiento de lodos						No presenta ningún daño, funcionamiento regular sin interrupciones
Filtro prensa		x				Su funcionamiento no es seguro, la bomba de este equipo se encuentra dañada, ocasionando que este se abra en el momento menos esperado y los lodos se disparen en cualquier dirección.
Cámara de cloración			x			No presenta fallas en la estructura, pero se observó acumulación de lodo, la falta de limpieza continua contribuyen con la acumulación, además que su limpieza resulta difícil ya que demanda de personal y tiempo

La empresa privada contrató técnicos especializados en filtros prensa para su revisión y mantenimiento

TABLA III. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y EVALUACIÓN GENERAL DE LA PTAR Y UNIDADES DE TRATAMIENTO

VISITAS A LA PTAR DE LA INDUSTRIA LÁCTEA					
Fecha de visita	16 al 28 de octubre del 2017	Responsable		La Autora	
Visita	Planta de tratamiento	Ubicación		Cantón Quito	
ÍTEM	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE	OBSERVACIONES
EXTERIOR					
Generación de olores y vectores				x	El lodo generado del sistema de tratamiento se espesa con cal para la mitigación de olores, además, la limpieza continua de la PTAR y disposición de estos impide la proliferación de vectores
DOCUMENTOS					
Manual de operaciones		x			Presentan un manual de operaciones y mantenimiento incompleto, falta información de características de operación
Certificados académicos de los operarios	x				Los operarios poseen conocimiento sobre el manejo de plantas de tratamiento, pero no poseen certificados académicos que avalen dicha información.
Planos de la PTAR			x		Cuenta con planos
FUNCIONAMIENTO					
Medidor de caudales				x	No presentan daños, funcionamiento continuo
Trampa de grasas	x				Presenta aberturas en los soportes que sostienen las planchas de acero inoxidable, en horas pico existe desbordamiento de agua hacia las cámaras siguientes causado por el taponamiento de las perforaciones de 2mm de diámetro que constituyen las planchas que dividen la unidad. los operarios realizan la limpieza periódica de estas planchas, pero demanda de tiempo y personal, ya que es indispensable sacar la planchas y limpiarlas con agua a presión.
Tanque de homogenización			x		No presenta fallas, pero en horas pico el ajuste de pH es insuficiente, lo que conlleva a los operarios a realizar acciones de emergencia al menos dos veces al día
Sistema de aire disuelto (DAF)			x		No presentan daños, pero se observó fuga de lodo en horas pico, es decir, existe acumulación de lodo en las canaletas de salida, sin embargo, la unidad cumple con las características de operación establecidas en romero (2004), la acumulación de lodos se relaciona con la falta de acciones inmediatas de limpieza

TABLA III. CONTINUACIÓN

Tratamiento Biológico: lodos Activados	Biorreactor aerobio 1		x		No presenta fallas en la estructuras, pero existe variaciones en las características de operación que se establecen en romero (2004) que pueden ser modificadas para un correcto funcionamiento
	Biorreactor aerobio 2		x		No presenta fallas en la estructuras, pero existe variación en las características de la operación que se establecen en romero (2004) pero pueden ser modificadas para un correcto funcionamiento
	Tanque decantador		x		Se evidenció falta de limpieza, ya que existe acumulación de lodos en la superficie y falta de recirculación de lodos de forma continua
Tanque de espesamiento de lodos					No presenta ningún daño, funcionamiento regular sin interrupciones
Filtro prensa		x			Su funcionamiento no es seguro, la bomba de este equipo se encuentra dañada, ocasionando que este se abra en el momento menos esperado y los lodos se disparen en cualquier dirección.
Cámara de cloración			x		No presenta fallas en la estructura, pero se observó acumulación de lodo, la falta de limpieza continua contribuyen con la acumulación, además que su limpieza resulta difícil ya que demanda de personal y tiempo

El filtro prensa fue evaluado por un especialista y enviado a reparar, por lo cual, las acciones de emergencia establecidas durante el periodo de arreglo del filtro fueron: los operarios debían de almacenar el lodo espesado en tanques secundarios hasta que el gestor acuda a su transporte y posterior disposición.

TABLA IV. RESULTADOS DE ENCUESTA SEMIESTRUCTURADA A LOS OPERARIOS

#	Pregunta	Respuesta	
		Operador 1	Operador 2
1	¿Cuál es su nivel de instrucción académica?	Primaria	Secundaria
2	¿Cuánto tiempo trabaja en la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea?	2 años	2 años
3	¿Tiene experiencia o conocimiento sobre el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea?	No	No
4	¿Recibe capacitaciones sobre el manejo y operación de la PTAR?	No	No
5	¿Qué actividades de manejo y operación realiza en la PTAR?	Deshidratación de lodos, control de pH, control de dosificación de coagulantes, remoción de residuos acumulados	Deshidratación de lodos, control de pH, control de dosificación de coagulantes, remoción de residuos acumulados
	¿Qué equipo de seguridad debe usar para la manipulación de químicos?	Mascarillas, guantes, botas punta de acero y overol	Mascarillas, guantes, botas punta de acero y overol
6	¿Conoce las características de funcionamiento de las unidades de tratamiento?	No	No
7	¿Cómo determina las dosis de químicos que deben de ser inyectadas al agua?	Se toma una muestra de agua antes de que ingrese al sistema DAF, si esta es opaca y no existe formación de grumos, pH mayor a 8, se procede a aumentar o reducir la dosis de coagulante en base a una prueba: con un palo de madera tocar levemente con el coagulante líquido, posteriormente introducir y agitar hasta la formación de grumos, se aumenta la dosis de coagulante hasta la formación de grumos y clarificación del agua	Se toma una muestra de agua antes de que ingrese al sistema DAF, si esta es opaca y no existe formación de grumos, pH mayor a 8, se procede a aumentar o reducir la dosis de coagulante en base a una prueba: con un palo de madera tocar levemente con el coagulante líquido, posteriormente, introducir y agitar hasta la formación de grumos, se aumenta la dosis de coagulante hasta la formación de grumos y clarificación del agua
8	¿Cómo determina la calidad del efluente?	El agua tratada no debe de presentar lodo y color, el pH debe ser menor a 8 y la medición de cloro debe ser menor a 1,5	El agua tratada no debe de presentar lodo y color, el pH debe ser menor a 8.
9	En caso de emergencia o daños de equipos que acciones lleva a cabo	En caso de emergencia en el funcionamiento de los equipos se procede a desviar el agua de entrada al sistema de alcantarillado, se llama al técnico de la empresa privada para el arreglo de lo equipos	En caso de emergencia en el funcionamiento de los equipos se procede a desviar el agua de entrada al sistema de alcantarillado, se llama al técnico de la empresa privada para el arreglo de lo equipos
10	¿Cuál es la norma ambiental y parámetros de control que se regulan para determinar la calidad del agua tratada?	No se conoce que parámetros de control deben de ser regulados y en que norma se establecen	Se desconoce los parámetros de control
11	¿conoce cuáles son los efectos negativos del afluente al ser descargados a un cuerpo de agua o sistema de alcantarillado?	No	No

TABLA IV. CONTINUACIÓN

#	Pregunta	Respuesta	
		Operador 3	Operador 4
1	¿Cuál es su nivel de instrucción académica?	Secundaria	Secundaria
2	¿Cuánto tiempo trabaja en la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea?	2 años	2 años
3	¿Tiene experiencia o conocimiento sobre el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea?	Por 3 meses trabajé en una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea, cuyas unidades de tratamiento son similares a planta de tratamiento	Por 6 meses trabajé en una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea, cuyas unidades de tratamiento son diferentes a esta PTAR
4	¿Recibe capacitaciones sobre el manejo y operación de la PTAR?	No, pero conozco más o menos las actividades que se deben de desarrollar en la PTAR	No, pero conozco más o menos las actividades que se deben de desarrollar en la PTAR
5	¿Qué actividades de manejo y operación realiza en la PTAR?	Deshidratación de lodos, control de pH, control de dosificación de coagulantes, remoción de residuos acumulados	Deshidratación de lodos, control de pH, control de dosificación de coagulantes, remoción de residuos acumulados
	¿Qué equipo de seguridad debe usar para la manipulación de químicos?	Mascarillas, guantes, botas punta de acero y overol	Mascarillas, guantes, botas punta de acero y overol
6	¿Conoce las características de funcionamiento de las unidades de tratamiento?	Sí, pero de manera general, las características de funcionamiento óptimas las desconozco	Sí, pero de manera general
7	¿Cómo determina las dosis de químicos que deben de ser inyectadas al agua?	La dosis de coagulante se determina en base a una prueba que consiste en: tomar una muestra de agua antes de que ingrese al sistema DAF, si esta es opaca y no existe formación de grumos, con un palo de madera tocar levemente el coagulante líquido, posteriormente, introducir al vaso con la muestra de agua y agitar hasta la formación de grumos, se aumenta o disminuye el químico dependiendo de la formación de grumos.	Debería de emplearse una prueba de jarras, pero debido al tiempo se emplea lo siguiente: Se toma una muestra de agua antes de que ingrese al sistema DAF, si esta es opaca y no existe formación de grumos, pH mayor a 8, se procede a aumentar o reducir la dosis de coagulante en base a una prueba: con un palo de madera tocar levemente con el coagulante líquido, posteriormente, introducir y agitar hasta la formación de grumos, se aumenta la dosis de coagulante hasta la formación de grumos y clarificación del agua
8	¿Cómo determina la calidad del efluente?	Se toma una muestra de agua después del tanque de cloración, e mide cloro residual, pH y temperatura, hay que observar que no exista presencia de lodo y color en el agua.	Se deben de realizar análisis al agua tratada, pero al no contar con equipos de laboratorio para la determinación de estos, se debe de controlar que el agua tratada no presente lodo, color, pH menor a 8 y la medición de cloro debe ser menor a 1,5
9	En caso de emergencia o daños de equipos que acciones lleva a cabo	Si las bombas presentan ruidos o fallas en su funcionamiento, se apagan estas hasta que el técnico de la empresa privada acuda a la revisión, se desvía el agua hasta que los equipos se arreglen, así también cuando el agua no alcanza el pH óptimo de trabajo.	Si las bombas presentan ruidos o fallas en su funcionamiento, se apagan estas hasta que el técnico de la empresa privada acuda a la revisión, se desvía el agua hasta que los equipos se arreglen, así también cuando el agua no alcanza el pH óptimo de trabajo.

TABLA IV. CONTINUACIÓN

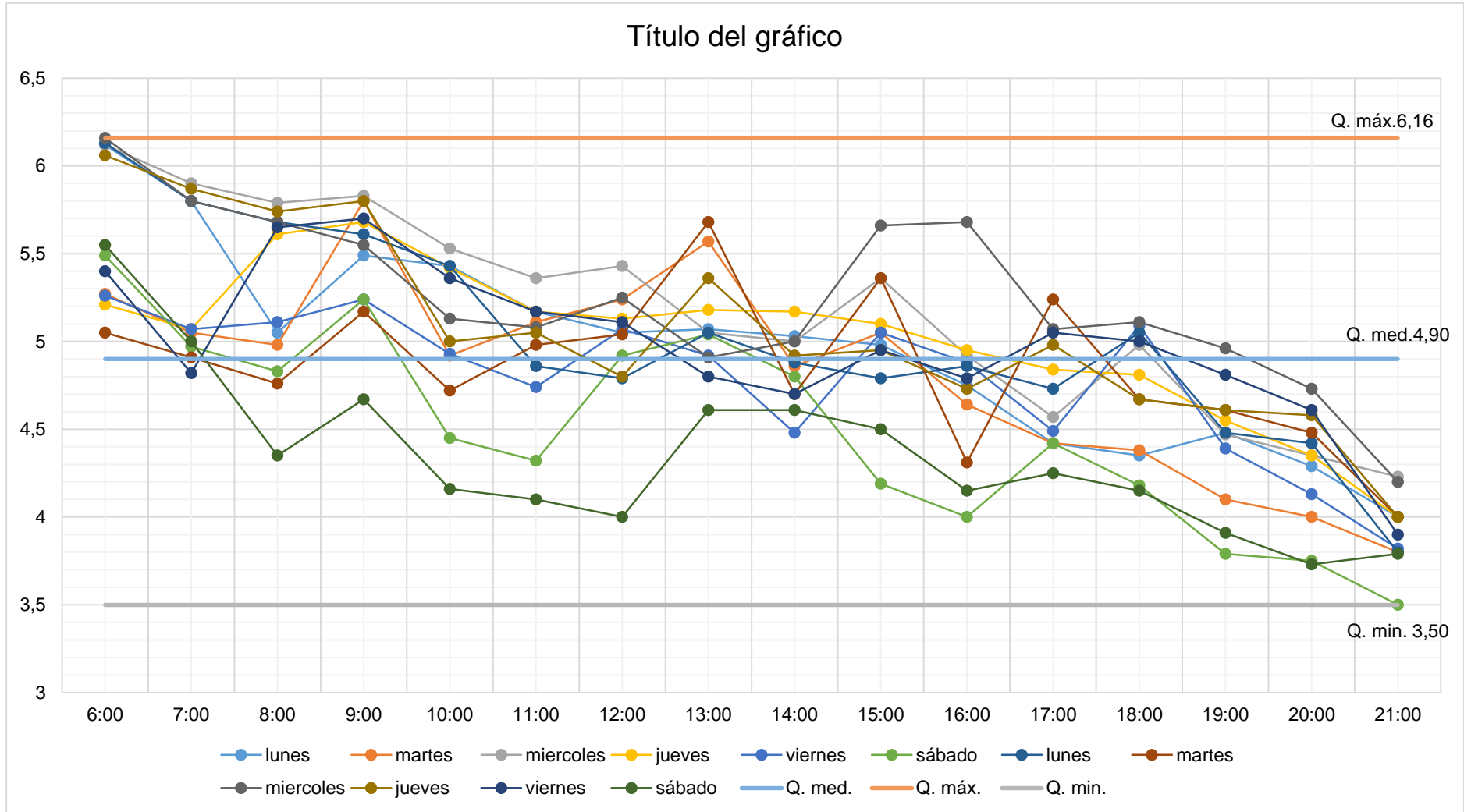
10	¿Cuál es la norma ambiental y parámetros de control que se regulan para determinar la calidad del agua tratada?	No se conoce que parámetros de control deben de ser regulados y en que norma se establecen	Desconozco los parámetros y normas de regularización
11	¿Conoce cuáles son los efectos negativos del afluente al ser descargados a un cuerpo de agua o alcantarillado	No	No

ANEXO II:

MEDICIÓN DE CAUDAL DEL AFLUENTE DURANTE DOS SEMANAS

TABLA V. MEDICION DE CAUDALES DEL AFLUENTE DURANTE 2 SEMANAS DEL MES DE SEPTIEMBRE 2017

	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
	18/09/2017	19/09/2017	20/09/2017	21/09/2017	22/09/2017	23/09/2017	25/09/2017	26/09/2017	27/09/2017	28/09/2017	29/09/2017	30/09/2017
HORA	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s
6:00	6,12	5,27	6,12	5,21	5,26	5,49	6,13	5,05	6,16	6,06	5,40	5,55
7:00	5,80	5,05	5,90	5,07	5,07	4,97	5,80	4,91	5,8	5,87	4,82	5,00
8:00	5,05	4,98	5,79	5,61	5,11	4,83	5,68	4,76	5,68	5,74	5,65	4,35
9:00	5,49	5,8	5,83	5,68	5,24	5,24	5,61	5,17	5,55	5,80	5,70	4,67
10:00	5,43	4,92	5,53	5,42	4,93	4,45	5,43	4,72	5,13	5,00	5,36	4,16
11:00	5,17	5,11	5,36	5,17	4,74	4,32	4,86	4,98	5,08	5,05	5,17	4,10
12:00	5,05	5,24	5,43	5,13	5,07	4,92	4,79	5,04	5,25	4,80	5,11	4,00
13:00	5,07	5,57	5,05	5,18	4,92	5,04	5,05	5,68	4,91	5,36	4,80	4,61
14:00	5,03	4,86	5,00	5,17	4,48	4,80	4,88	4,70	5,00	4,92	4,70	4,61
15:00	4,98	5,05	5,36	5,10	5,05	4,19	4,79	5,36	5,66	4,95	4,95	4,50
16:00	4,75	4,64	4,92	4,95	4,88	4,00	4,86	4,31	5,68	4,73	4,79	4,15
17:00	4,42	4,42	4,57	4,84	4,49	4,42	4,73	5,24	5,07	4,98	5,05	4,25
18:00	4,35	4,38	4,98	4,81	5,09	4,18	5,05	4,67	5,11	4,67	5,00	4,15
19:00	4,48	4,1	4,47	4,55	4,39	3,79	4,48	4,61	4,96	4,61	4,81	3,91
20:00	4,29	4,00	4,35	4,35	4,13	3,75	4,42	4,48	4,73	4,58	4,61	3,73
21:00	4,00	3,80	4,23	4,00	3,82	3,50	3,80	4,00	4,20	4,00	3,90	3,79
Promedio	4,95	4,81	5,12	5,00	4,78	4,41	5,04	4,85	5,23	5,05	4,97	4,37
Q. Promedio	4,90 (l/s)											



ANEXO III:
CALCULO DE A/S Y A/M

Relación A/S

Calculo de la relación adimensional aire/sólidos mediante la ecuación 15.4 establecida en Romero (2004).

$$\frac{A}{S} = \frac{Cd[f(PT-PV)-(PL-PV)]}{So(760-PV)} \quad [15.4]$$

Dónde:

$\frac{A}{S}$ = relación adimensional aire/sólidos

C= Solubilidad de saturación del aire a una atm

d= Densidad de aire a las condiciones del problema

PT= Presión de operación del tanque

PV= Presión de vapor del agua a la temperatura de operación

PL= Presión local atmosférica

So= Concentración de sólidos suspendidos del afluente

TABLA INFORMACIÓN PARA CALCULO DE A/S

Elementos	Símbolo	Unidad	Valor
Temperatura	T	°C	29,3
Solubilidad de saturación del aire a una atm	C	ml/l agua	15,7
Presión de operación del tanque	PT	mmHg	4137,2
Presión local atmosférica	PL	mmHg	760
Presión de vapor del agua a la temperatura de operación	PV	mmHg	31,8
Fracción de saturación alcanzada en el tanque de presurización	f		0,5
Concentración de sólidos suspendidos del afluente	SO	mg/l	1050,3
Relación adimensional aire/sólidos	A/S		0,025
Densidad de aire a las condiciones del problema	d	mg/ml	1,17

Fuente: La Autora; Romero,2004

CÁLCULO DE A/S PARA EL SISTEMA DAF:

$$\frac{A}{S} = \frac{(15,7 \frac{ml}{l})(1,165 \frac{mg}{ml})[0,5(4137,19 \text{ mmHg} - 31,8 \text{ mmHg}) - (760 \text{ mmHg} - 31,8 \text{ mmHg})]}{1005,31 \frac{mg}{l}(760 \text{ mmHg} - 31,8 \text{ mmHg})}$$

$$\frac{A}{S} = 0,05$$

Relación A/M

Calculo de la relación adimensional alimento/microorganismos mediante la ecuación 17.5 establecida en Romero (2004)

$$\frac{A}{M} = \frac{Q S_0}{V X} \quad [17.5]$$

Dónde:

$\frac{A}{M}$ = relación alimento/ microorganismos
 $\frac{g \text{ DBO}}{g \text{ SS.d}}$

Q= Caudal de aguas residuales crudas, $\frac{m^3}{d}$

x= concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, mg/l

So= DBO del agua residual cruda, $\frac{mg}{l}$

V= Volumen del líquido en el tanque de aireación, m^3

Para el proyecto se reemplazó el valor de sólidos suspendidos totales por sólidos suspendidos volátiles ya que, en Romero, 2004 nos menciona que, en muchos casos, los sólidos suspendidos volátiles se aproximan al contenido de sólidos suspendidos totales.

Elementos	Símbolo	Unidad	Valor
Temperatura	T	°C	29,25
Caudal promedio diario	Q	$\frac{m^3}{d}$	280
DBO agua cruda	DBO ₅	mg/l	
Volumen del líquido en el tanque de aireación	V	m^3	280
Sólidos suspendidos volátiles	X	mg/l	169,3

Fuente: La Autora; Romero,2004

CÁLCULO DE A/M PARA LOS BIORREACTORES:

$$\frac{A}{M} = \frac{280 \times 1065,0}{280 \times 169,3}$$

$$\frac{A}{M} = 6,3$$

ANEXO IV:
INFORME DE RESULTADOS DE ACEITES- GRASAS Y NITROGENO TOTAL
KJELDAHL

ACEITES Y GRASAS
**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-841

Ref. ST17-261

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 16/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: afluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 841
Fecha de ingreso al Laboratorio: 16/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	48,3	70	30	18/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor - Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)


**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-842

Ref. ST17-261

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 16/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: DAF
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 842
Fecha de ingreso al Laboratorio: 16/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	7,5	70	30	18/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor - Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-843

Ref. ST17-261

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangoquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 16/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: efluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 843
Fecha de ingreso al Laboratorio: 16/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	2,8	70	30	18/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor - Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 27 de noviembre de 2017

No. IR17-965

Ref. ST17-295

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: ECUAPETQUIM
Atención:
Dirección: Tambillo, Barrio Miraflores
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 2017-11-15
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2318628

Origen: descarga industria láctea,
afluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 965
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-11-15

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/l	33,5	70,0	30,0	2017-11-17	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles de acuerdo al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Tablas 8 y 9 (Descarga al sistema de alcantarillado público y descarga a un cuerpo de agua dulce)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 27 de noviembre de 2017

No. IR17-967

Ref. ST17-296

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: ECUAPETQUIM
Atención:
Dirección: Tambillo, Barrio Miraflores
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 2017-11-16
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2318628

Origen: descarga industria láctea, afluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 967
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-11-16

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/l	9,4	70,0	30,0	2017-11-17	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles de acuerdo al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Tablas 8 y 9 (Descarga al sistema de alcantarillado público y descarga a un cuerpo de agua dulce)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-851

Ref. ST17-267

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 18/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: DAF
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 851
Fecha de ingreso al Laboratorio: 18/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	3,5	70	30	19/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor - Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-852

Ref. ST17-267

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 18/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: efluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 852
Fecha de ingreso al Laboratorio: 18/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alicantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	<2	70	30	19/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor.- Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)


Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO




Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-892

Ref. ST17-276

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 24/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: afluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 892
Fecha de ingreso al Laboratorio: 24/10/2017

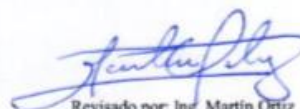
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alicantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	28,20	70	30	2017-10-25	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor.- Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)


Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO




Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-893

Ref. ST17-276

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 24/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: DAF
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 893
Fecha de ingreso al Laboratorio: 24/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	<2	70	30	2017-10-25	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor - Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)

Activ
Ve a C



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-894

Ref. ST17-276

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 24/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: efluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 894
Fecha de ingreso al Laboratorio: 24/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	6,5	70	30	2017-10-25	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor - Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-917

Ref. ST17-281

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 26/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: DAF
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 917
Fecha de ingreso al Laboratorio: 26/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	18,0	70	30	27/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor.- Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-918

Ref. ST17-281

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI
Atención:
Dirección: Sangolquí
Identificación de la muestra: ninguna
Fecha de recolección: 26/10/2017
Responsable de toma de muestra: Cliente

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea: efluente
Tipo de muestra: Agua residual
Tipo de envase: Vidrio ámbar
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 918
Fecha de ingreso al Laboratorio: 26/10/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Aceites y grasas	mg/L	<2	70	30	27/10/2017	APHA 5520 B, Gravimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor.- Anexo 1, Tabla A1, OM 138 (sep. 2016)

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)

Ac
Ve:

NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@gmail.com
Quito – Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-846

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-263

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Dirección: Sangolquí

Teléfono: 2080602

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: descarga industria láctea,
afluente

Fecha de recolección: 2017-10-16

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 846

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-17

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	57	2017-10-23	Nessler APHA 4500 - N B

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYORealizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO
Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-908

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-279

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Dirección: Sangolquí

Teléfono: 2080602

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: descarga industria láctea,
afluente

Fecha de recolección: 2017-10-24

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 908

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-25

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	37,5	2017-10-26	Nessler APHA 4500 - N B
Sólidos suspendidos	mg/L	1420	2017-10-27	APHA 2540 D

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYORealizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO
Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253

Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-862

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-270

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Dirección: Sangolquí

Teléfono: 2080602

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: descarga industria láctea,
efluente

Fecha de recolección: 2017-10-18

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 862

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-19

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	11,3	2017-10-23	Nessler APHA 4500 - N B

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)

Quito – Ecuador

INFORME DE RESULTADOS

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-847

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-263

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Dirección: Sangolquí

Teléfono: 2080602

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: descarga industria láctea,
efluente

Fecha de recolección: 2017-10-16

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 847

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-17

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	1,5	2017-10-23	Nessler APHA 4500 - N B

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-926

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Dirección: Sangolquí

Identificación de la muestra: ninguna

Fecha de recolección: 2017-10-26

Responsable de toma de muestra: Cliente

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 926

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-27

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea,
afluente

Tipo de muestra: Agua residual

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	40,5	2017-10-30	Nessler APHA 4500 - N B

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-910

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Dirección: Sangolquí

Identificación de la muestra: ninguna

Fecha de recolección: 2017-10-24

Responsable de toma de muestra: Cliente

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 910

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-25

Teléfono: 2080602

Origen: descarga industria láctea,
efluente

Tipo de muestra: Agua residual

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	12,0	2017-10-26	Nessler APHA 4500 - N B
Sólidos suspendidos	mg/L	224	2017-10-27	APHA 2540 D

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 07 de noviembre de 2017

No. IR17-927

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-283

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Teléfono: 2080602

Dirección: Sangolquí

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: descarga industria láctea,
efluente

Fecha de recolección: 2017-10-26

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 927

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-27

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	5,3	2017-10-30	Nessler APHA 4500 - N B

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 26 de octubre de 2017

No. IR17-861

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-270

Solicitado por: MARIBEL LANDI

Atención:

Teléfono: 2080602

Dirección: Sangolquí

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: descarga industria láctea,
afluente

Fecha de recolección: 2017-10-18

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 861

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-10-19

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/L	39,8	2017-10-23	Nessler APHA 4500 - N B

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)

ANEXO V:
CALCULO DE Q

Afluente:

Parámetro	Unidad	lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio \bar{x}
Aceites y grasas	mg/l	48,3	28,5	33,5	9,4	29,9

$$Q = \frac{28,5 - 9,4}{48,3 - 9,4}$$

$$Q = 0,49$$

DAF

Parámetro	Unidad	lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio
Aceites y grasas	mg/l	7,5	3,5	6,5	18	8,9

$$Q = \frac{18 - 7,5}{18 - 3,5}$$

$$Q = 0,72$$

Efluente

Parámetro	Unidad	lunes	miércoles	martes	jueves	Promedio
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	1,5	12	11,3	5,3	7,5

$$Q = \frac{5,3 - 1,5}{12 - 1,5}$$

$$Q = 0,36$$