



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO PROTOTIPO DE AGUAS RESIDUALES PARA
LA EMPRESA DE LÁCTEOS SAN SALVADOR**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: ALBÁN GUAMÁN NELSON RAMIRO

JARA RUIZ CRISTIAN DAVID

TUTORA: DRA. CUMANDÁ CARRERA

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Albán Guaman Nelson Ramiro, Jara Ruiz Cristian David

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PROTOTIPO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA DE LÁCTEOS SAN SALVADOR”**, de responsabilidad de los señores Albán Guaman Nelson Ramiro y Jara Ruiz Cristian David, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Dra. Cumandá Carrera

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Burbano

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, Albán Guaman Nelson Ramiro y Jara Ruiz Cristian David somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Albán Guaman Nelson Ramiro

Jara Ruiz Cristian David

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a Dios por permitirme tener vida, salud y lograr cumplir una de mis metas que me trace durante mi vida universitaria, a mis padres Nelson Albán y Margarita Guaman que con su apoyo, incondicionalidad, palabras de aliento motivaron a la culminación de la carrera y a que se haga realidad mi sueño de ser un profesional. A mis hermanos Freddy y Verónica que siempre estuvieron pendientes de mí durante mi formación como estudiante. A mi compañero de proyecto y carrera Cristian que confió en mi para el desarrollo y culminación de nuestra tesis.

Albán Guaman Nelson Ramiro

Este trabajo está dedicado a mis padres Elías Jara y Norma Ruiz por el esfuerzo y sacrificio realizado durante el transcurso de mi vida para la culminación de mi carrera universitaria, quienes me han apoyado de manera incondicional a pesar de los obstáculos y adversidades. A mis hermanos Alejandro, Celinda, Andrea, Belén, Marcela, Martín y Mateo por el apoyo y contribución para la realización de este proyecto, además de un ejemplo de perseverancia y superación mostrando que no existe nada imposible. A mi hija Celeste por ser mi inspiración, motivación y fuerza para seguir adelante.

Jara Ruiz Cristian David

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por llevarme por el camino correcto, saber tomar las mejores decisiones y culminar con éxito mi vida universitaria. A mi familia pilar fundamental de mi formación como futuro profesional a pesar de las adversidades que se presentaron durante el transcurso de la carrera. A mi Director de Tesis Dra. Cumandá Carrera, Asesor Ing. Diego Burbano, Dr. Gerardo León, Ing. Juan Gonzales, Dra. Gina Álvarez, que cada uno nos impartió sus conocimientos, guías y experiencias para desarrollar un buen proyecto. A la empresa de lácteos “San Salvador” en especial a la Ing. Sonia Rodas que nos abrió las puertas y se nos permitió el desarrollo de nuestro proyecto de titulación. A Pablo y Belén personas importantes que siempre están pendientes de mí. Un agradecimiento especial a Cristian Jara promotor de que culminemos con éxito nuestro trabajo de titulación.

Albán Guaman Nelson Ramiro

A Dios por darme la vida, salud y por guiarme durante toda mi vida. A mi familia quienes siempre me han brindado su apoyo durante toda mi carrera y formación como profesional. A la Dra. Cumandá Carrera, Ing. Diego Burbano, Dr. Gerardo León, Dra. Gina Álvarez, Ing. Juan Gonzales por su colaboración y contribución para la culminación con éxito de este trabajo. A la Ing. Sonia Rodas gerente de producción de la empresa de Lácteos “San Salvador” por permitir la realización de nuestro proyecto. A Nelson mi compañero y amigo quien hizo posible el desarrollo y finalización de nuestro trabajo de titulación.

Jara Ruiz Cristian David

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I	6
1 MARCO TEÓRICO	6
1.1 Marco teórico referencial	6
1.1.1 <i>El agua</i>	6
1.1.2 <i>Contaminación del agua</i>	6
1.1.3 <i>Calidad de las aguas</i>	6
1.1.4 <i>Agua residual</i>	6
1.1.5 <i>Tipos de aguas residuales</i>	7
1.2 Características del agua residual	7
1.2.1 <i>Físicas</i>	8
1.2.2 <i>Químicas</i>	9
1.2.3 <i>Biológicas</i>	11
1.3 Industria láctea	12
1.3.1 <i>Productos de industrias lácteas</i>	12
1.3.2 <i>Aguas residuales de las industrias lácteas</i>	13
1.3.3 <i>Medición de caudales</i>	14
1.3.4 <i>Muestreo</i>	15
1.4 Pruebas de tratabilidad	16
1.4.1 <i>Prueba de jarras</i>	17
1.4.2 <i>Aireación</i>	17
1.4.3 <i>Filtración</i>	18
1.5 Tecnologías de tratamiento de aguas residuales	19
1.5.1 <i>Tipos de tratamientos</i>	19
1.5.2 <i>Sistema de tratamiento de aguas residuales</i>	20

1.6	Normativa ambiental	39
 CAPÍTULO II		 41
2	MARCO METODOLÓGICO	41
2.1	Diseño experimental	41
2.1.1	<i>Tipo de estudio</i>	41
2.2	Metodología	41
2.2.1	<i>Localización de la investigación</i>	42
2.2.2	<i>Muestreo</i>	42
2.2.3	<i>Medición de caudales</i>	43
2.2.4	<i>Caracterización del agua residual</i>	44
2.3	Pruebas de tratabilidad	45
2.3.1	<i>Test de sedimentación</i>	46
2.3.2	<i>Test de aireación</i>	46
2.3.3	<i>Test de jarras</i>	47
2.3.4	<i>Test de filtración</i>	49
2.4	Diseño del sistema de tratamiento propuesto	51
2.4.1	<i>Elaboración de planos del sistema de tratamiento</i>	51
2.4.2	<i>Construcción del prototipo</i>	51
2.4.3	<i>Pruebas de control y funcionamiento del prototipo</i>	57
2.4.4	<i>Funcionamiento y puesta en marcha del prototipo</i>	57
2.4.5	<i>Parámetros controlados in-situ durante la puesta en marcha del prototipo</i>	61
 CAPÍTULO III		 62
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ...	62
3.1	Localización de la experimentación	62
3.1.1	<i>Reconocimiento de la planta</i>	62
3.1.2	<i>Descripción de la empresa</i>	63
3.2	Medición de caudales	63

3.3	Caracterización del agua residual, análisis físicos, químicos y microbiológicos para el agua residual con suero	64
3.3.1	<i>Pruebas de tratabilidad para el agua residual con suero</i>	65
3.3.1.1	<i>Prueba de aireación</i>	65
3.3.1.2	<i>Prueba de jarras</i>	66
3.3.2	<i>Caracterización del agua residual luego de las pruebas de tratabilidad</i>	67
3.4	Caracterización del agua residual, análisis físicos, químicos y microbiológicos para el agua residual sin suero	68
3.4.1	<i>Pruebas de tratabilidad para el agua residual sin suero</i>	70
3.4.1.1	<i>Prueba de aireación</i>	70
3.4.1.2	<i>Prueba de jarras</i>	71
3.5	Dimensionamiento del sistema de tratamiento	75
3.5.1	<i>Caudal</i>	75
3.5.2	<i>Caudal de diseño</i>	75
3.5.3	<i>Diseño del canal rectangular</i>	75
3.5.4	<i>Cribado o rejillas</i>	77
3.5.5	<i>Trampa de grasa</i>	79
3.5.6	<i>Sedimentador primario tipo circular</i>	81
3.5.7	<i>Aireación mediante difusores</i>	84
3.5.8	<i>Coagulación – floculación</i>	89
3.5.9	<i>Filtración</i>	92
3.5.10	<i>Eras de secado</i>	97
3.6	Diseño y construcción del prototipo	98
3.6.1	<i>Pruebas con el prototipo</i>	98
3.7	Caracterización del agua residual sin suero antes de ingresar al prototipo	99
3.7.1	<i>Pruebas de tratamiento con el prototipo</i>	100
3.7.1.1	<i>Aireación</i>	100
3.7.1.2	<i>Coagulación – floculación</i>	101
3.7.1.3	<i>Filtración</i>	102
3.7.2	<i>Caracterización final después del tratamiento con el prototipo</i>	103
3.8	Resultados en porcentaje de remoción de contaminación	104
3.8.1	<i>Resultados de remoción de contaminantes después del tratamiento con el prototipo</i>	104
3.9	Discusión de resultados	108
3.9.1	<i>Resultados de la medición del caudal</i>	108
3.9.2	<i>Resultados de la caracterización del agua residual</i>	109

3.9.3	<i>Resultados pruebas de tratabilidad</i>	110
3.9.4	<i>Resultados de dimensionamiento de la planta de tratamiento</i>	112
3.9.5	<i>Esquema del sistema de tratamiento prototipo</i>	116
3.9.6	<i>Resultados del funcionamiento del prototipo</i>	117
3.9.7	<i>Resultados de dosificación óptima</i>	118
CONCLUSIONES		119
RECOMENDACIONES		120
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas	11
Tabla 2-1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	40
Tabla 1-2: Métodos utilizados en el laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH	45
Tabla 1-3: Datos de medición del caudal del agua residual de la empresa “San Salvador”	63
Tabla 2-3: Caracterización del agua residual lácteos “San Salvador” con suero	64
Tabla 3-3: Resultados de variación de oxígeno disuelto	65
Tabla 4-3: Dosificación de coagulante	66
Tabla 5-3: Dosificación de coagulante	66
Tabla 6-3: Caracterización del efluente luego de realizar las pruebas de tratabilidad para el agua residual con suero	67
Tabla 7-3: Caracterización del agua residual lácteos “San Salvador” sin suero	68
Tabla 8-3: Resultados de variación de oxígeno disuelto	70
Tabla 9-3: Variación de dosificación de coagulante	71
Tabla 10-3: Variación de dosificación de coagulante	72
Tabla 11-3: Variación de dosificación de coagulante	73
Tabla 12-3: Caracterización del agua residual sin suero luego de realizadas las pruebas de tratabilidad.	74
Tabla 13-3: Capacidad de conducción de agua en canales con revestimiento	75
Tabla 14-3: Información de rejillas de limpieza manual y mecánica	77
Tabla 15-3: Coeficiente de Manning para diferentes materiales	78
Tabla 16-3: Información de diseño de una trampa de grasa simple	80
Tabla 17-3: Valores recomendados de carga superficial	81
Tabla 18-3: Información típica para el diseño de tanques rectangulares y circulares utilizados en el tratamiento primario del agua residual.	81
Tabla 19-3: Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos	84
Tabla 20-3: Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos	84
Tabla 21-3: Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas	89
Tabla 22-3: Valores de K para impulsores en tanques con baffles, régimen turbulento	89
Tabla 23-3: Información típica para tanques de floculación	90
Tabla 24-3: Tiempo de contacto y gradiente de velocidad para mezcla rápida	90
Tabla 25-3: Variables para el diseño de filtros	92
Tabla 26-3: Información para el diseño de filtros	93
Tabla 27-3: Características de filtros de medio dual	95
Tabla 28-3: Características de la zeolita	96

Tabla 29-3: Parámetros de diseño para eras de secado	97
Tabla 30-3: Dimensiones de la planta de tratamiento prototipo	98
Tabla 31-3: Resultados de caracterización del agua residual.....	99
Tabla 32-3: Resultados de variación de oxígeno disuelto.....	100
Tabla 33-3: Tratamiento del agua residual con aireación	101
Tabla 34-3: Determinación de turbidez	101
Tabla 35-3: Tratamiento del agua residual con coagulación-floculación	102
Tabla 36-3: Tratamiento de filtración	102
Tabla 37-3: Resultados de la caracterización final después del tratamiento.....	103
Tabla 38-3: Porcentaje de remoción de contaminantes.....	104
Tabla 39-3: Datos promedio del caudal	108
Tabla 40-3: Dimensionamiento del canal	112
Tabla 41-3: Dimensionamiento de las rejillas.....	112
Tabla 42-3: Dimensionamiento de la trampa de grasa.....	113
Tabla 43-3: Dimensionamiento del sedimentador circular	113
Tabla 44-3: Dimensionamiento de la aireación	114
Tabla 45-3: Dimensionamiento de la coagulación-floculación.....	114
Tabla 46-3: Dimensionamiento del filtro.....	115
Tabla 47-3: Dimensionamiento de las eras de secado	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Proceso de producción del queso fresco	12
Figura 2-1: Proceso de producción del yogurt.....	13
Figura 3-1: Método volumétrico.....	15
Figura 4 -1: Lecho filtrante.....	19
Fotografía 1-2: Prueba de sedimentación	46
Fotografía 2-2: Aireación del agua residual	47
Fotografía 3-2: Prueba de jarras	49
Fotografía 4-2: Montaje del filtro.....	50
Figura 5-2: Sistema de tratamiento propuesto	51
Fotografía 6-2: Soporte de ángulo de hierro.....	53
Fotografía 7-2: Tanque de almacenamiento	54
Fotografía 8-2: Trampa de grasa	54
Fotografía 9-2: Sedimentador.....	55
Fotografía 10-2: Tanque de aireación.....	55
Fotografía 11-2: Tanque de agitación.....	56
Fotografía 12-2: Filtro	57
Fotografía 13-2: Almacenamiento del agua residual.....	58
Fotografía 14-2: Trampa de grasa	59
Fotografía 15-2: Sedimentación del efluente.....	59
Fotografía 16-2: Proceso de aireación del agua residual	60
Fotografía 17-2: Agitación del agua residual	60
Fotografía 18-2: Etapa de filtración.....	61
Figura 1-3: Mapa político de Riobamba, ubicación del ensamblaje del prototipo	62
Figura 2-3: Diseño de una trampa de grasa	80
Figura 3-3: Cámara de agitación cilíndrica recomendada por Richter	90
Figura 4-3: Filtro de lecho mezclado o medios múltiples.....	93
Figura 5-3: Esquema de diseño del prototipo	116

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Comparación de resultados de caracterización del agua residual de la empresa de lácteos San Salvador de la ciudad de Riobamba, fábrica de lácteos San José del cantón Pillaro y la planta de lácteos Lactogal del Cantón Mejía de la Provincia de Pichincha.	69
Gráfico 2-3: Pruebas de dosificación	71
Gráfico 3-3: Dosificación óptima	72
Gráfico 4-3: Prueba de dosificación.....	73
Gráfico 5-3: Porcentaje de remoción de DBO ₅	105
Gráfico 6-3: Porcentaje de remoción de DQO.....	105
Gráfico 7-3: Porcentaje de remoción de aceites y grasas.....	106
Gráfico 8-3: Porcentaje de remoción de sólidos totales.....	106
Gráfico 9-3: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos.....	107
Gráfico 10-3: Porcentaje de remoción de turbidez	107
Gráfico 11-3: Porcentaje de remoción de coliformes fecales	108
Gráfico 12-3: Variación del caudal durante los días de la semana	109
Gráfico 13-3: Turbidez promedio con Al ₂ (SO ₄) ₃ y FeCl ₃	110
Gráfico 14-3: Variación de turbidez a diferentes concentraciones de coagulante	111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. PLANTA DE LÁCTEOS “SAN SALVADOR”

ANEXO B. PUNTO DE DESCARGA DEL AGUA RESIDUAL Y TOMA DE MUESTRAS

ANEXO C. MEDICIÓN DEL CAUDAL

ANEXO D. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

ANEXO E. EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE EL PROYECTO

ANEXO F. ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO

ANEXO G. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

ANEXO H. PLANTA DE TRATAMIENTO PROTOTIPO DE AGUAS RESIDUALES

ANEXO I. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

ANEXO J. COSTOS DE EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL ENSAMBLAJE DEL
PROTOTIPO

ANEXO K. PLANOS

ANEXO L. PRODUCTOS ELABORADOS POR LA EMPRESA DE LÁCTEOS SAN
SALVADOR

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo el diseño y construcción de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa de lácteos “San Salvador” del cantón Riobamba ya que actualmente descarga sus efluentes provenientes del proceso productivo al alcantarillado público sin ningún tratamiento. Se inició con la determinación del caudal real del efluente y caracterización de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, obteniéndose valores elevados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), aceites y grasas, turbidez, sólidos totales y suspendidos, considerados en la tabla 11, Libro VI Anexo I del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Posteriormente se realizaron ensayos de tratabilidad para definir los tratamientos necesarios para las aguas residuales en conformidad con lo que exige la normativa, definiéndose: rejillas, trampa de grasa, sedimentación, aireación, coagulación-floculación y filtración; se procedió al dimensionamiento de la planta en escala real mediante parámetros y ecuaciones de diseño preestablecidas. Finalmente se procedió a la construcción de la planta prototipo a escala utilizándose recipientes de plástico de geometrías circulares, rectangulares para cada tratamiento, empotrados en un soporte de hierro de 2,40 m x 1,80 m, diseñado en forma de grada para la circulación del líquido por gravedad, cada fase de tratamiento conectado con sus respectivos accesorios y poniéndose en marcha con 20 litros/día como caudal de diseño. Análisis finales realizados en las aguas residuales tratadas en la planta prototipo muestran una reducción de DBO_5 93,52 %; DQO 92,37 %; aceites y grasas 91,48 %; turbidez 97,94 %; sólidos totales 80,10 %, cumpliendo con los límites permisibles de descarga de la normativa ambiental. Concluyéndose que tanto el diseño, los procesos incluidos y el prototipo cumplen el objetivo de descontaminar los residuales. Se recomienda a la empresa la construcción de la planta de tratamiento a partir del prototipo propuesto.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOTECNOLOGÍA>, <AGUA RESIDUAL>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <INDUSTRIA LÁCTEA>, <PLANTA DE TRATAMIENTO>, <DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO>.

SUMMARY

The objective of this research is the desing and build a prototype to wastewater treatment plant for “San Salvador”, dairy Products Company in Riobamba city due this company throws its effluents from the production process into the public sewer system without any treatment process. It started to determine the flow effluent and its physical, chemical and microbiology characteristics getting high levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), oils and fats, turbidity, total and suspended solids which are in table 11, Book VI, Index 1, in Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Then treatability analyses were developed to establish the adequate treatment for the sewage water according the normative: grids, grease trap, sedimentation, aeration, coagulation-flocculation and filtration, therebefore the prototype was analyzed in real parameters and pre-established desing equations. Finally the prototype was built using circular, rectangular plastic containers to each treatment, in an embedded system of iron from 2,40m x 1,80m, designed as a harrow to let the liquid circulation by gravity, each treatment phase with its accessories and functioned with 20 l/d as a flow in the design. Latest analyses developed in wastewater in the prototype plant proves a decrease of BOD₅ 93,52%; COD 92,37%; oils and fats 91,48%; turbidity 97,94%; total solids 80,10%, all these according the allowable discharge limits in the environmental normative. Concluding that the design, process and prototype accomplish the objective to decontaminate the residuals. It is recommended the built of the treatment plant as of the prototype model.

KEY WORDS: TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE, BIOTECHNOLOGY, WASTEWATER, WASTEWATER TREATMENT, DAIRY INDUSTRY. TREATMENT PLANT, TREATMENT PLANT DESIGN.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable, limitado, que está en constante movimiento a través del ciclo hidrológico, cambiando de estado sólido, líquido y gaseoso variando su calidad, el acceso a este recurso es necesario para el desarrollo de la vida, para el uso de actividades domésticas, industriales y agrícolas (Almirón, 2004 pág. 217).

La región Sierra y en particular la Provincia de Chimborazo se caracterizan por ser promotor en la producción de productos lácteos y sus derivados, intensificándose la demanda de estos productos ya que son esenciales para la alimentación e indispensables en la dieta humana (FAO, 2015).

Debido al desarrollo industrial, el aumento poblacional y a la creciente demanda de productos de origen lácteo, a lo largo de los últimos años se ha multiplicado el desarrollo e implementación de industrias que utilizan como materia prima la leche para satisfacer las necesidades de consumo tanto a nivel local como nacional (UNESCO, 2006 pág. 2).

Por lo general son grandes los volúmenes de agua utilizados para el proceso de producción de productos lácteos como son los diversos tipos de quesos, yogurt, mantequilla, cremas, y demás; se incluyen también el agua para los procesos de lavado de equipos, materiales, de servicio y aseo del personal (CNAE, 2008 pág. 1).

Todo esto generara aguas residuales con una gran cantidad de contaminantes, principalmente materia orgánica, aceites y grasas, sólidos suspendidos y disueltos, DBO₅, DQO, nitrógeno, coliformes, color y olor característico; parámetros muy importantes que deben ser analizados antes de ser descargados a los cuerpos de agua dulce o sistemas de alcantarillado para evitar problemas de contaminación en los ríos y ambiente (CNAE, 2008 pág. 9).

Por tales razones es necesaria la implementación de sistemas de tratamiento que incluyen procesos físicos, químicos y biológicos eficaces en la depuración de aguas residuales, los cuales dependerán del tipo de efluente, la carga contaminante presente y el grado de purificación requerido, así como el cumplimiento de la normativa ambiental vigente para la descarga de efluentes industriales.

El presente trabajo tendrá como objetivo el tratamiento de las aguas residuales generadas por la empresa de lácteos “San Salvador”, a través de la realización de pruebas experimentales para identificar las etapas de tratamiento más adecuadas y posterior diseño y construcción de una planta de tratamiento prototipo, logrando reducir significativamente la carga contaminante en el efluente antes del vertido a un medio receptor.

ANTECEDENTES

La Región Sierra del Ecuador y específicamente la Provincia de Chimborazo ubicada en la zona de planificación 3 es reconocida por la producción agropecuaria, formada por páramos, montes, bosques y pastos naturales identificada como una provincia ganadera por la gran producción de leche con 22,00 % de la producción nacional aportando con 360 millones de litros diarios de leche y con una tasa de crecimiento del 3 % anual (MCPEC, 2011).

La empresa de lácteos “San Salvador” asentada en el Cantón Riobamba, Parroquia Veloz, en la Primera Constituyente 11-49 entre Cuba y Darquea, destinada a la producción de lácteos y sus derivados desde el año 1997 maneja de 2 000 – 3 000 litros de leche diarios para satisfacer las necesidades alimenticias de la Provincia y del País.

Los efluentes industriales lácteos que son vertidos sin ningún tratamiento a los medios receptores, sean a los sistemas de alcantarillado en el caso de los sectores urbanos o de ríos en las zonas rurales ocasionan daños irreversibles al ambiente ya que contienen altos contenidos de materia orgánica, aceites y grasas, que generan mal olor, eutrofización y degradación ambiental (Valencia, y Ramírez, 2009 págs. 27-31).

El tratamiento de aguas residuales industriales no es evidenciado, en el caso de las industrias lácteas una pequeña parte solo disponen de rejillas, otras disponen de trampa de grasas y la otra no tienen ningún tipo de tratamiento y sus aguas residuales son descargadas directamente a los sistemas de alcantarillado. Es competencia del Ministerio del Ambiente y de los GAD's de cada ciudad llevar a cabo la regulación y el cumplimiento de descarga de efluentes industriales (TULSMA, 2015 pág. 3).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales incluyen procesos físicos, químicos y biológicos, dichas etapas se determinaran de acuerdo a la caracterización del efluente, ya que las aguas residuales generadas de cada industria presentaran diferentes características, de acuerdo a ello se elegirán los tratamientos más adecuados, efectivos y viables económicamente. (CNAE, 2008 págs. 14-15).

En la ciudad de Riobamba se asientan diversidad de microempresas, artesanales y pequeñas industrias de tipo láctea tanto en los sectores céntricos como en sus alrededores donde las aguas residuales generadas no siempre vienen acompañadas de un proceso de tratamiento, son muy contadas las empresas que disponen de alguno de ellos, ya sea por desconocimiento de la normativa ambiental o simplemente evitar adquirir algún tipo de sistema de saneamiento que le puedan representar gastos adicionales y excesivos para la empresa.

Por su parte existen muchos diseños de plantas de tratamiento a nivel de trabajos de titulación, en cuales solo se ha llegado hasta su dimensionamiento, son muy escasos los trabajos implementados o mejoras en plantas en ejecución, a su vez los diseños de plantas de tratamiento prototipo son muy pocas las experiencias encontradas actualmente, sin embargo, se puede mencionar algunos ejemplos que tomaremos como referencia:

Cartago, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, “Diseño de un prototipo de uso doméstico para la remoción de arsénico en agua potable, basado en coagulación/floculación con cloruro de hierro (III)”, en el cual se construyó un prototipo basado en un sistema de coagulación/floculación, utilizando dos tipos de floculantes mediante ensayos de jarras se determinaron las dosis adecuadas obteniéndose un 99 % de eficiencia de remoción de arsénico (Rojas Paola, 2014).

Riobamba, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “Diseño e implementación de una planta (prototipo) de tratamiento de agua potable tipo paquete para los pozos uno y dos”, para lo cual se realizó la caracterización física, química y microbiológica del agua y su posterior potabilización del agua subterránea en el prototipo diseñado, obteniéndose una eficiencia de remoción de dureza del agua con un 65,59 %, haciéndola apta para el consumo humano (Totoy Edwin y Moreta Melinton, 2016).

Riobamba, en la Universidad Nacional de Chimborazo “Diseño de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la Quesera Isabel ubicada en el sector Langos el Cisne”, se inició con el muestreo y posterior caracterización del agua residual, para las pruebas en el prototipo el sistema de lodos activados construido de lámina de vidrio, controlando parámetros como DBO₅, pH, temperatura, obteniéndose un porcentaje de remoción de DBO₅ de 99,7 % como parámetro principal como el mayor indicador de contaminación del agua (Guerra Luis, 2014).

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto técnico es sustancial para la empresa láctea, que tiene por prioridad el respeto y el compromiso de cuidado del ambiente, salud de los ciudadanos, cumplimiento de las leyes y normas ambientales. Por ello esta investigación tiene como finalidad la revisión bibliográfica necesaria que nos guiará durante todo el trabajo, iniciando con el proceso de muestreo, posterior caracterización del agua residual, ensayos de tratabilidad, pruebas con las etapas del sistema de tratamiento dispuesto y construcción del prototipo.

La realización de este trabajo de titulación será importante para futuros procesos de investigación ya que la construcción de la planta de tratamiento prototipo servirá de base y como ejemplar para el desarrollo de sistemas de tratamiento reales que se podrán implementar en empresas con similares producciones, ya que han sido procesos que se han probado y realizado siguiendo normas y estándares de laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH, la cual confirmará la credibilidad de los resultados obtenidos garantizando la efectividad del sistema de depuración verificado con las normativas ambientales vigentes establecidas en el libro VI del TULSMA.

Con el diseño y construcción de la planta de tratamiento prototipo la empresa de lácteos “San Salvador” podrá dimensionar a su necesidad para tratar sus efluentes líquidos, ya que se beneficiara con los sistemas de tratamiento estudiados, probados práctica y experimentalmente, que nos certificará la fiabilidad del sistema de tratamiento para que pueda ser implementado sin ningún tipo de inconveniente, ya que se facilitaran los cálculos de diseño y planos del sistema en escala real.

Al momento la empresa en cuestión no cuenta con ningún tipo de tratamiento para las aguas residuales generadas y son vertidas directamente al sistema de alcantarillado público y en cumplimiento con las normativas ambientales existe el compromiso por parte de la empresa de lácteos “San Salvador” de adoptar alternativas de tratamiento de sus efluentes antes de ser descargados, lo cual hace que este trabajo sea esencial para su posterior implementación.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar y construir una planta de tratamiento prototipo de aguas residuales para la empresa de lácteos “San Salvador”.

Objetivos Específicos

- Caracterizar física, química y microbiológicamente el efluente proveniente del proceso productivo de la empresa de lácteos “San Salvador”.
- Seleccionar los procesos de tratamiento adecuados y viables técnicamente mediante pruebas de tratabilidad en el laboratorio y en base a los datos obtenidos de la caracterización.
- Dimensionar y construir las etapas que constituyen la planta de tratamiento prototipo controlando los parámetros de operación mediante análisis del agua tratada.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Marco teórico referencial

1.1.1 El agua

El agua es un elemento primordial, esencial para el desarrollo de la vida y el más abundante de la Tierra, cubriendo las tres cuartas partes de la superficie terrestre, es un recurso indispensable, pero su disponibilidad es muy escasa debido a los diferentes usos y actividades realizadas por el hombre, siendo las más importantes de tipo industrial, agrícola y doméstico (Carbajal, 2012 pág. 64).

1.1.2 Contaminación del agua

Es la alteración de las características físicas, químicas y biológicas que pueden afectar a su calidad y su composición, entre los principales están microorganismos patógenos, desechos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas, compuestos orgánicos, sedimentos, materiales suspendidos, residuos líquidos, etc; ocasionando efectos adversos sobre la salud y ambiente (Tecnun, 2015 pág. 1).

1.1.3 Calidad de las aguas

La calidad de las aguas depende de los diferentes usos que se le puede dar, esto influye directamente en la mayor o menor calidad que pueda tener un agua, intervienen factores como el crecimiento poblacional, la progresiva demanda de agua y la falta o incumplimiento de normas (Senagua, 2012 pág. 14).

1.1.4 Agua residual

Las aguas residuales son producto de la utilización del agua para diferentes fines, como resultado de las actividades humanas modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ocasionando daños irreversibles al ambiente (Centa, 2008 pág. 15).

1.1.5 Tipos de aguas residuales

Son diversos los tipos de aguas residuales, dependiendo de la actividad realizada se determinará el tipo de efluente y su composición, por lo cual serán diferentes las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de cada una de ellas (García, 1985 págs. 1-2).

1.1.5.1 Aguas residuales domésticas

Son aquellas procedentes de las actividades domésticas tales como aseo personal, limpieza, cocina, generalmente poseen altos contenidos de materia orgánica, residuos de alimentos, grasas, aceites, detergentes, jabones, etc.

1.1.5.2 Aguas residuales industriales

Son provenientes de los procesos y operaciones de transformación del agua, de las actividades comerciales e industriales; dependiendo del tipo de industria o actividad contienen diferentes composiciones de materia orgánica biodegradable, material en suspensión, compuestos orgánicos, sustancias tóxicas, grasas, aceites, combustibles, detergentes.

1.1.5.3 Aguas residuales agrícolas

Son generadas por las actividades agrícolas, generalmente de las zonas rurales, caracterizadas por poseer compuestos o sustancias químicas como distintos tipos de pesticidas los cuales por escorrentía llegan a los cuerpos de agua receptores (García, 1985 pág. 2).

1.2 Características del agua residual

- **Físicas:** Conductividad, color, temperatura, turbiedad, sólidos totales, sólidos totales disueltos, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos.
- **Químicas:** Aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno fosfatos, nitritos, nitratos, potencial hidrógeno, oxígeno disuelto.
- **Biológicas:** Organismos coliformes (Crites, 2000 págs. 21-23).

1.2.1 Físicas

1.2.1.1 Conductividad

La conductividad del agua mide la capacidad que tiene la misma para transportar la corriente eléctrica, el aumento de la conductividad estará determinado por el incremento en la concentración de iones en solución, además puede ser utilizado como indicador de la concentración de sólidos totales disueltos (Crites, 2000a pág. 47).

1.2.1.2 Color

El color del agua dependerá de la actividad para la que ha sido usada y es causado por sólidos suspendidos, disueltos y la presencia de coloides, pudiéndose diferenciar el color aparente causado por los sólidos suspendidos y el color verdadero debido a sustancias disueltas, a través de este parámetro se puede valorar el estado del agua residual (Crites, 2000b pág. 42-43).

1.2.1.3 Temperatura

Por lo general la temperatura del agua residual es superior a la del agua de suministro, producida por la combinación con agua a elevadas temperaturas descargadas del uso doméstico e industrial, es un parámetro importante que influye en los tratamientos químicos y biológicos (Crites, 2000c pág. 46-47).

1.2.1.4 Turbiedad

La turbiedad es un indicador de la calidad de las aguas y es una medida de las propiedades de dispersión de la luz a través de una muestra de agua, esta relacionado directamente con las partículas y materiales en suspensión con tamaños muy variables, su medición se determina por comparación de la dispersión de luz en una muestra con una suspensión de referencia (Crites, 2000d pág. 42).

1.2.1.5 Sólidos totales

Suelen estar presentes de manera suspendida o disuelta en el agua residual, la presencia de estos puede influir directamente sobre la calidad del agua, los sólidos totales son los residuos que permanecen luego de someterse a un proceso de evaporación y secado de 103 – 105 °C, es un parámetro importante considerado en los tratamientos físico y biológico en aguas residuales (Carpio, 2007 pág. 2).

1.2.1.6 Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos es una medida de la cantidad de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en una muestra de agua, comprenden algunos minerales, metales, sales, cationes o aniones, es un parámetro utilizado para estimar la calidad que presenta el agua (Sigler y Bauder, 2012 pág. 1).

1.2.1.7 Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables representan todo el contenido de materiales que se depositan o se encuentran presentes en una muestra de agua durante un período de tiempo determinado, para lo cual suele usarse un cono de sedimentación tipo Imhoff (Obregón, 2016 pág. 3).

1.2.2.8 Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos son aquellos que por lo general se encuentran flotando en el agua residual entre el nivel superficial y el fondo, son visibles y pueden ser removidos por procesos físicos y mecánicos (López, y otros, 2014 pág. 2).

1.2.2 Químicas

1.2.2.1 Aceites y grasas

Cuando en las aguas residuales existe la presencia de aceites, grasas, ceras, y otros constituyentes similares lo cual complica el tratamiento de las mismas ya que son insolubles en el agua, la acumulación de aceites y grasas impiden el paso libre de oxígeno influyendo directamente sobre la actividad biológica en la superficie (Crites, 2000e pág. 42).

1.2.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno necesario por una corriente residual para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en el agua residual, la muestra toma 5 días para que pueda ser determinada en ausencia de luz, es utilizada como principal indicador de calidad de las aguas residuales, se debe cumplir las condiciones adecuadas para tener resultados confiables (Russell, 2012 pág. 26).

1.2.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es usada para medir la cantidad de materia orgánica que contiene un agua residual, es el oxígeno necesario para oxidar químicamente todo el material orgánico de un efluente, para lo cual se usa una solución de dicromato en medio ácido, se puede determinar en 2 horas y media a comparación de la prueba de DBO₅ que dura 5 días (Crites, 2000f pág. 67).

1.2.2.4 Fosfatos

La acumulación de fosfatos (PO_4^{3-}) en el agua residual puede llevar a procesos de eutrofización, pueden provenir de las heces de humanos y animales, así como también de detergentes y productos de limpieza, se encuentran en forma disuelta, coloidal o sólida (Putz, 2000 págs. 1-2).

1.2.2.5 Nitritos

La presencia de nitritos (NO_2^-) en aguas residuales indican procesos activos biológicos, por lo general se presentan en concentraciones relativamente bajas en las aguas superficiales, pero sus valores pueden incrementarse al entrar en contacto con aguas residuales industriales y domésticas, también indica la presencia de contaminación fecal en aguas naturales (Molina et al., 2003).

1.2.2.6 Nitratos

Los nitratos (NO_3^-) pueden tomarse como una referencia del índice de calidad de las aguas residuales, al igual que los nitritos se encuentran en pequeñas cantidades, por lo general los nitratos son menos tóxicos que los nitritos (Palomares, 2013).

1.2.2.7 Potencial hidrógeno

Parámetro utilizado para medir la concentración del ion hidrógeno de una sustancia, la cual se expresa como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno en una solución, el rango de pH debe oscilar entre 5 y 9 para que sea efectivo los tratamientos biológicos (Crites, 2000g pág. 48-49).

1.2.2.8 Oxígeno disuelto

Parámetro importante utilizado para determinar la calidad del agua, para el control y tratamiento de aguas residuales. Un nivel mas elevado de oxígeno disuelto indica una mejor calidad del agua, este indicador se encuentra estrechamente relacionado con la temperatura, ya que la oxidación biológica incrementa con la temperatura, aguas más cálidas disuelven menores cantidades de oxígeno (Eddy, 1995 págs. 565).

Tabla 1-1: Concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas

OD mg/l	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	Adecuado para la vida de la mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: (Goyenola, 2007)

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

1.2.3 Biológicas

1.2.3.1 Organismos patógenos

Las aguas residuales que contienen organismos patógenos debido principalmente a las descargas de desechos humanos son causantes de diversas enfermedades, entre los tipos principales están las bacterias, parásitos (protozoos, helmintos) y virus (Crites, 2000h pág. 80).

1.2.3.2 Bacterias

Uno de los grupos predominantes de bacterias en las aguas residuales son las del género salmonella con una diversidad de especies, ocasionando enfermedades en humanos y animales, éstas colonizan el tracto intestinal y son eliminadas en las heces (Crites, 2000i pág. 80).

1.2.3.3 Protozoos

Son organismos microscópicos que producen muchas enfermedades, son de gran importancia debido a su ataque a individuos con deficiencias en su sistema inmunológico, además su diminuto tamaño los hacen resistentes a las condiciones medioambientales (Crites, 2000j pág. 84).

1.2.3.4 Virus

Los virus son organismos que no presentan estructura definida, están formados por ADN o ARN, son responsables de la transmisión de enfermedades infecciosas y son capaces de multiplicarse bajo la presencia de un hospedador (Crites, 2000k pág. 84).

1.3 Industria láctea

Las industrias del sector lácteo utilizan como materia prima la leche, generando de 6 – 10 litros de aguas residuales por litro de leche procesada, éstas experimentan un rápido crecimiento mejorando su productividad y demanda, pero al mismo tiempo dando lugar a la descarga de desechos con considerables cargas contaminantes como son materia orgánica pesada, aceites, grasas, ácidos grasos y compuestos nitrogenados (Porwal y Mane, 2015 págs. 1-3).

1.3.1 Productos de industrias lácteas

Los productos lácteos son fundamentales en la alimentación humana, como el yogurt, queso fresco, queso de mesa, queso mozzarella, crema de leche, manjares, entre otros; su elaboración debe efectuarse bajo estrictas normas de salubridad e higiene para asegurar un producto apto para el consumo humano (Meyer, 2007 pág. 11).

1.3.1.1 Queso fresco

El queso es un alimento derivado de la leche, es la combinación de proteínas, grasa y otros componentes lácteos, esto se obtiene luego de la coagulación de la caseína, las principales operaciones que intervienen para su producción son:

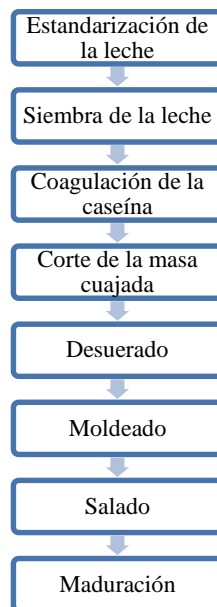


Figura 1-1: Proceso de producción del queso fresco

Fuente: (Meyer, 2007 pág. 65), Manuales para educación agropecuaria

1.3.1.2 Yogurt

El yogurt es un alimento esencial para el organismo, este se produce a partir de la leche entera o descremada y para el proceso de producción comprende las siguientes etapas:

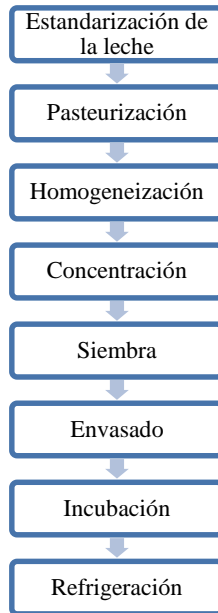


Figura 2-1: Proceso de producción del yogurt

Fuente: (Meyer, 2007 pág. 61), Manuales para educación agropecuaria

1.3.2 Aguas residuales de las industrias lácteas

El problema de mayor significancia en las industrias lácteas es la generación de elevados volúmenes de aguas residuales, con una concentración de carga contaminante muy alta, principalmente de tipo orgánico, parámetros como DBO₅, DQO, aceites, grasas, fósforo y nitrógeno, los cuales son muy variables dependiendo del caudal y de los productos elaborados (CNAE, 2008 págs. 1-9).

1.3.2.1 Clasificación del agua residual láctea

La generación del agua residual láctea no es la misma, por los procesos que intervienen en las etapas de producción y por el tipo de efluente, se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Agua de proceso**

Es el agua que interviene durante todo el proceso de producción, desde el inicio hasta lograr el producto terminado.

- **Agua de lavado de equipos y materiales**

Agua utilizada generalmente en grandes volúmenes para el lavado de equipos y utensilios utilizados al finalizar la jornada de trabajo.

- **Agua de servicio**

Es el agua utilizada para el aseo del personal que labora en la empresa.

1.3.3 Medición de caudales

Para poder determinar el caudal de las descargas se debe efectuar por lo menos 3 o más jornadas de medición de 24 horas en el día, identificando los puntos críticos durante la jornada en el sitio específico donde se va a tomar la medición. Obteniendo estos datos se determinará los caudales medios y máximos horarios representativos de cada descarga. En caso de existir descargas industriales dentro del sistema del alcantarillado, se deberá calcular por separado los caudales industriales y domésticos.

En el caso de nuestra investigación que se midió el caudal de una empresa de lácteos es decir agua residual de tipo industrial y debido a que no se contaba con equipos sofisticados para la medición de caudales, se optó por una guía MEDICIÓN DE CAUDALES (AFOROS) en la misma que se utilizó por el método volumétrico.

1.3.3.1 Método volumétrico

Técnica sencilla que permite calcular pequeños caudales, que es la medición directa del tiempo que se demora en completar un recipiente de un volumen conocido. Identificada la corriente de descarga se desvía hacia el recipiente donde se va a tomar la medida del caudal en el recipiente adecuado y se determina el tiempo de llenado del efluente por medio de un cronómetro. En el caso de caudales de más de 4 l/s es necesario un recipiente de 10 litros de capacidad, mismo que se llenara en segundos. Por otra parte, para caudales más grandes, se utiliza recipientes de 200 litros que pueden medir corrientes de hasta 50 l/s.

Durante el período que se demora en llenar el recipiente con el efluente se medirá con precisión, regularmente cuando sea de pocos segundos. Se deberá realizar por lo menos 5 pruebas para obtener el caudal promedio. No se debe llenar todo el recipiente, solo a cierta altura, por lo que el recipiente deberá contener una escala que indica cual es el volumen (Suarez, 2014).

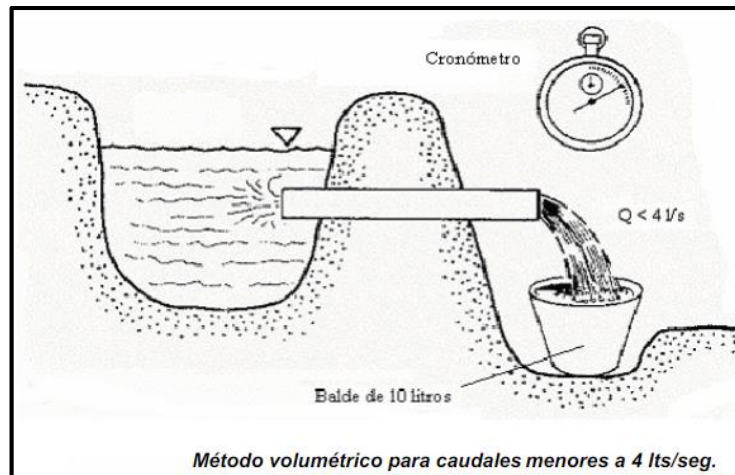


Figura 3-1: Método volumétrico

Fuente: Suarez,2014

1.3.4 Muestreo

Para la obtención de muestras va a depender de los objetivos de estudio y los procedimientos analíticos empleados. El muestreo tiene como finalidad obtener una parte representativa del componente bajo estudio, agua residual en nuestro caso, la misma que se analizará los parámetros de interés. Para cumplir con esta finalidad la muestra debe conservar sus concentraciones relativas presentes en el material original, y que no existan cambios en su composición antes de su análisis.

Por lo general, se debe recoger 2 litros o más de muestra para poder analizar la mayoría de parámetros físico-químicos. Según los parámetros que se van analizar se necesita mayor cantidad de volumen para poder ser caracterizado.

Según la norma NTE INEN 2169:2013 las aguas superficiales y residuales, son susceptibles a cambios en su composición como resultado de reacciones físicas, químicas y biológicas, la naturaleza de estas reacciones son tales que se modifican sino se toman medidas precautorias antes y durante el transporte, pueden presentar cambios durante la caracterización de las mismas (INEN, 2013).

1.3.4.1 Tipos de muestras

- **Muestra simple**

Al momento que la muestra es recolectada nos da las características del agua residual, se usa por lo general:

- El caudal del agua residual como su composición es constante;
- El flujo del efluente es intermitente;
- Muestras compuestas ocultan condiciones de las aguas residuales como temperatura y pH;
- El volumen mínimo para recolectar una muestra simple debe estar entre 1 y 2 litros.

- **Muestra compuesta**

Originadas por una mezcla de muestras simples tomadas en diferentes intervalos de tiempo. La cantidad de cada muestra individual que se combina a la muestra compuesta deber ser proporcional al flujo del caudal al momento que la muestra fue tomada (Ramalho, 2003).

1.3.4.2 Preservación de muestras

Según norma NTE INEN 2169:2013 en el momento que se manipula y se preserva la muestra se debe considerar:

- Seleccionar y preparar los materiales específicos para el muestreo, tomando en cuenta los análisis que se vayan a realizar.
- Las muestras que van a ser utilizadas para determinar parámetros físicos, químicos, se deben llenar en su totalidad en los frascos y taparlos para que no exista aire sobre la muestra.
- En muestras para el análisis microbiológico, los envases no se los debe llenar en su totalidad dejando un espacio de aire antes de colocar la tapa.
- Muestras que van a ser sometidas a congelación por método de conservación, no se debe llenar completamente, muestras que deben ser guardadas a temperaturas bajas a la temperatura que se recolectó.
- Para muestras para caracterización microbiológica no se deben congelar.
- Tambien se pueden añadir compuestos químicos para preservar las muestras como es el caso de ácidos, soluciones, bases (INEN, 2013).

1.4 Pruebas de tratabilidad

La mayoría de los análisis que son realizados en el laboratorio tienen como objetivo conocer la composición del agua, es decir, cantidad y tipo de sustancia que contiene. Pero así mismo existen otros ensayos, cuya finalidad tienen otros propósitos, como es el caso de la pruebas de tratabilidad mismas que permiten conocer los valores de algunos parámetros necesarios para el tratamiento de aguas en plantas de purificación.

Las pruebas de tratabilidad se realizan previo al diseño de una planta de tratamiento, permite establecer características de tratamiento, medidas de implementación para optimizar resultados, dichas pruebas además permiten comprobar la eficiencia del sistema de tratamiento con pruebas de laboratorio (Altra, 2017).

1.4.1 Prueba de jarras

Este ensayo es utilizado para evaluar procesos de coagulación y floculación. Realizadas estas pruebas de una manera eficaz se obtienen resultados confiables para diseñar, evaluar y optimizar el funcionamiento de una planta (Martinez, 1999).

En el desarrollo de la prueba de jarras, se debe considerar factores como: temperatura de la experimentación, fuerza del coagulante, cantidad del coagulante, secuencia y tiempo de adición de los reactivos, duración e intensidad del mezclado rápido y lento, método de muestreo. También es importante definir el término gradiente de velocidad media G , ya que este mide la intensidad de mezclado en el mezclado rápido y en la floculación, es el trabajo suministrado al fluido por unidad de tiempo y unidad de volumen se define por la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{W}{u}} = \text{segundos}^{-1}$$

Donde:

W : función de disipación de potencia por unidad de volumen

u : viscosidad absoluta del líquido

También se debe considerar algunos factores en la selección del coagulante:

- a) pH de la muestra a tratar
- b) Calidad del agua a tratar
- c) pH óptimo del coagulante
- d) Dosis
- e) Eficiencia de remoción de contaminantes
- f) Velocidad de sedimentación de lodos

1.4.2 Aireación

La elección de equipos de aireación es una tarea complicada en el proceso de una planta de fangos activados o de lagunaje aireado, por tal de suministrar el oxígeno que requieren los microorganismos y para obtener una agitación y homogeneidad suficientes para asegurar un contacto íntimo entre estos, los elementos contaminantes y el oxígeno introducido.

Los aireadores se pueden clasificar:

- Unidades de difusión de aire.
- Aireadores mecánicos.

Un parámetro importante es la capacidad de transferencia de oxígeno expresada en kg de oxígeno por kw/h en condiciones normalizadas (20°C, 0,0 mg/l de oxígeno disuelto, y agua de la red de suministro como líquido de ensayo). Los ensayos, evaluaciones de los aireadores se llevan a cabo, con agua limpia, desaireada con bisulfito sódico, en condiciones no estacionarias. Para diseño, es necesario corregir los datos de rendimiento en condiciones normales a las condiciones reales de funcionamiento previstas.

1.4.2.1 Unidades de difusión

Las unidades de difusión tienen como finalidad la inyección de aire comprimido a presión, en masa líquida mediante difusores. El aire comprimido atraviesa las partes porosas, formando burbujas de aire para transferir el oxígeno, adquiriendo una turbulencia requerida.

Los difusores se dividen en 2 grupos de acuerdo al tamaño de la burbuja pero para nuestra investigación se citó la de más importancia:

- **Burbuja fina**

Las diminutas burbujas, que tienen una gran superficie por unidad de volumen, permiten un buen contacto sólido líquido, obteniendo valores relativamente elevados de rendimiento de transferencia de oxígeno. También la velocidad de elevación es menor. El diámetro de las burbujas que se desembocan de estos difusores es de 2-2,5 mm, dependiendo el tamaño de burbuja que está entre 5-15 %. Los valores de eficacia de oxigenación se encuentran entre 2,5 y 3,6 kg de oxígeno/kWh (Cerezo, 2011).

1.4.3 Filtración

La filtración convencional se utiliza como medio filtrante para un medio poroso formado por material granular (grava, arena, zeolita), el líquido a filtrar se pasa a través del lecho poroso, por gravedad o presión, quedando los sólidos en la superficie en los espacios intersticiales que quedan entre las partículas que conforman el lecho filtrante (Cerezo, 2011).

1.4.3.1 Filtración en medio granular

La filtración se utiliza, para conseguir una mayor reducción de sólidos en suspensión (incluida la DBO₅) de los efluentes de los procesos de tratamiento biológico y químicos. La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado o regeneración.

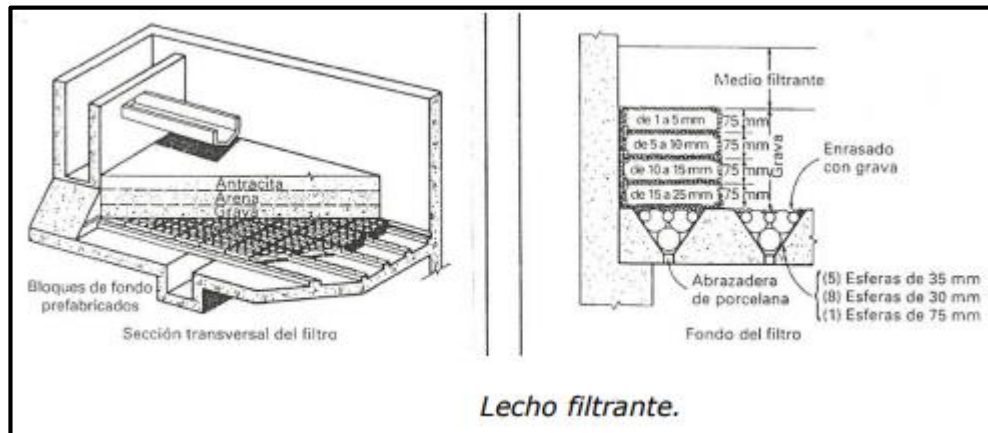


Figura 4 -1: Lecho filtrante

Fuente: Cerezo, 2011

Los lechos filtrantes pueden estar compuestos por una o varias capas de material granuloso, estratificado, pero todos ellos desarrollados con la finalidad que los sólidos en suspensión penetren a mayor profundidad posible dentro del lecho para aprovechar al máximo la capacidad de almacenaje. Además, estas capas pueden estar constituidas por material de distinto tipo (arena, antracitas, carbón, etc.). Dependiendo de la necesidad de depuración o de la disponibilidad económica (Cerezo, 2011).

1.5 Tecnologías de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales considera distintos procesos de tratamiento, ya que las aguas residuales procedentes de las industrias son de diverso tipo se requieren distintas etapas de tratamiento, equipos, operaciones unitarias, así como también nuevas líneas de tratamiento y tecnologías que permitan un eficaz tratamiento previo su descarga al alcantarillado (Ramalho, 1990 págs. 2,3).

1.5.1 Tipos de tratamientos

De acuerdo con Ramalho (1990, pág. 9), existen diversos tipos de tratamientos entre los que se encuentran los procesos físicos, químicos y biológicos, donde los denomina de la siguiente manera:

1.5.1.1 Tratamiento primario

- Cribado
- Sedimentación
- Flotación
- Separación de aceites
- Homogenización
- Neutralización

1.5.1.2 Tratamiento secundario

- Lodos activos
- Aireación prolongada
- Estabilización por contacto
- Filtros biológicos
- Discos biológicos
- Filtros

1.5.1.3 Tratamiento terciario o avanzado

- Microtamizado
- Filtración
- Precipitación y coagulación
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Cloración y ozonización

1.5.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales

1.5.2.1 Rejillas

El cribado o también denominado rejillas es indispensable en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales ya que es utilizado para retener los sólidos suspendidos de distintos tamaños, la limpieza se lo realiza de manera tanto manual como mecánicamente, el material del que están construidas debe ser de malla metálica de acero o material anticorrosivo para evitar el deterioro (Ramalho, 1990 pág. 92).

1.5.2.1.1 Ecuaciones de diseño de cribado o rejillas

Para el diseño de las rejillas tomamos los criterios de diseño de (Ramalho, 1990) y (Metcalf & Eddy, 1995).

– Velocidad de aproximación del agua a la rejilla

$$v = \frac{1}{n} R h^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

v : velocidad de aproximación (m/s)

n : coeficiente de Manning

Rh : radio hidráulico del canal (m)

S : gradiente hidráulico (m/m)

– Sumatoria de la separación entre barras

$$b_g = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

b_g : sumatoria de las separaciones entre rejas, mm

b : ancho del canal, mm

e : separación entre barras, mm

s : espesor de las barras, mm

– Número de barras

$$n = \frac{b_g}{e} - 1 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

n : número de barras

b_g : sumatoria de las separaciones entre rejas, mm

e : separación entre barras, mm

– **Longitud de las barras**

$$l_b = \frac{H}{\text{sen } \theta} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

l_b : longitud de las barras, m

H : profundidad del canal, m

θ : pendiente en relación a la vertical, grados

– **Área de espacios entre barras**

$$A_{eb} = b_g \times l_b \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

A_{eb} : área de espacios entre barras, m^2

b_g : sumatoria de las separaciones entre rejas, m

l_b : longitud de las barras, m

– **Velocidad a través de la reja**

$$V = \frac{Q}{A_{eb}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

V : velocidad a través de la reja, m/s

Q : caudal m^3/s

A_{eb} : área de espacios entre barrotes, m^2

– **Pérdidas de carga a través de una reja**

$$h_l = k \left(\frac{V - v^2}{2 \times g} \right) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

h_l : pérdida de carga, m

$k: 1/0,7$: coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de sólidos

V : velocidad del flujo a través de los barrotos, m/s

v : velocidad de aproximación del fluido, m/s

g : aceleración de gravedad, m/s²

1.5.2.2 Trampa de grasa

La trampa de grasa llamada también interceptor de grasa es un equipo indispensable para la remoción de material graso presente en las aguas residuales, deben ubicarse en un sitio accesible para su fácil limpieza, los aceites, grasas y demás materiales flotan en la superficie y otros más pesados precipitan al fondo, la corriente de agua residual fluye de manera que no lleve restos de grasas y aceites, es necesario la limpieza periódica ya que la acumulación de materia orgánica puede causar obstrucciones en las tuberías (OPS/CEPIS, 2003 págs. 6-8).

1.5.2.2.1 Ecuaciones de diseño de la trampa de grasa

Según la (Unatsabar, 2003 pg.7-8), se debe cumplir con las siguientes consideraciones para el diseño de una trampa de grasa:

– **Consideraciones para la trampa de grasa**

- a) La relación largo:ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2.
- b) La profundidad no deberá ser menor a 0,80 m.
- c) El ingreso a la trampa de grasa se hará por medio de un codo de 90° y un diámetro de 75 mm. La salida sera por medio de una tee con un diámetro mínimo de 75 mm.
- d) La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel de líquido.
- e) La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y salida deberá de ser no menor a 0,05m.
- f) La parte superior del dispositivo de salida deberá dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo del nivel de la losa del techo.
- g) La parte inferior de la tubería de salida deberá estar no menos de 0,075 m ni más de 0,15 m del fondo.

- h) El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo 0,30 m.
- i) La trampa de grasa deberá ser de forma tronco cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. El área horizontal de la base deberá ser por lo menos 0,25 x 0,25 m por lado o de 0,25 m de diámetro. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal.
- j) Se podrá aceptar diseños con un depósito adjunto para almacenamiento de grasas, cuando la capacidad total supere los 0,6 m³ o donde el establecimiento trabaje en forma continua por más de 16 horas diarias.
- k) La trampa de grasa y el compartimiento de almacenamiento de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua. El volumen máximo de acumulación de grasa será de por lo menos 1/3 del volumen total de la trampa de grasa.

– **Volumen de la trampa de grasa**

$$V_T = Q \times T_r \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

V_T : volumen efectivo, l

Q : caudal, l/s

T_r : tiempo de retención, h

– **Tiempo de retención**

$$T_r = \frac{V_T}{Q} \quad \text{Ec. 9}$$

1.5.2.3 Sedimentación

La sedimentación es empleada en la separación de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, el principio de funcionamiento se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el medio en donde se encuentran, las cuales por acción de la gravedad se depositan en el fondo del tanque de sedimentación (Ramalho, 1990 pág. 92).

También se puede denominar clarificación o espesamiento, existen dos tipos de sedimentación, la presedimentación que es un tratamiento primario la cual reduce la cantidad de sólidos sedimentables antes de la coagulación y floculación y la sedimentación luego de la coagulación y floculación para la remoción de sólidos sedimentables fruto del tratamiento químico aplicado (Rojas, 2006 pág. 141).

– **Sedimentación tipo 1 y tipo 2**

En el agua encontramos partículas discretas, las mismas que no varían su tamaño, forma y peso cuando sedimentan, la cual es una sedimentación libre, no interferida en la que participan solamente las propiedades del fluido y de la partícula, y también partículas floculentas y precipitantes que son aquellas que varían su densidad y volumen a medida que se aglomeran cuando se ha aplicado un mecanismo de floculación; así tenemos la sedimentación tipo 1 y tipo 2 respectivamente (Rojas, 2006 págs. 142 - 143).

1.5.2.3.1 Ecuaciones de diseño para el sedimentador primario tipo circular

El dimensionamiento del sedimentador circular se lo realizó según los criterios de diseño de (Crites & Tchobanoglous, 2000).

– **Área del tanque de sedimentación**

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

A: área del tanque de sedimentación, m^2

Cs: Carga superficial, m^3/m^2d

Q: caudal producido, m^3/d

– **Radio del tanque de sedimentación**

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

A: área del tanque de sedimentación, m^2

r: radio del tanque, m

– **Diámetro del tanque de sedimentación**

$$\emptyset = 2 \times r \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

\emptyset : diámetro del tanque de sedimentación, m

r : radio del tanque, m

– **Reparto central en el tanque de sedimentación**

$$R_c = 0,25 \times \emptyset \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

R_c : reparto central en el tanque, m

\emptyset : diámetro del tanque de sedimentación, m

– **Volumen del tanque de sedimentación**

$$V = A \times h_{TS} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

V : volumen del tanque de sedimentación, m^3

A : área del tanque de sedimentación, m^2

h_{TS} : profundidad del tanque de sedimentación, m

– **Tiempo de retención teórico**

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

Tr : tiempo de retención teórico, h

V : volumen del tanque de sedimentación, m^3

Q : caudal, m^3/h

– **Altura de reparto**

$$H_r = \frac{1}{4} x h_{TS} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

H_r : altura de reparto, m

h_{TS} : profundidad del tanque de sedimentación, m

– **Carga sobre vertedero de salida**

$$C_v = \frac{Q}{\pi x \emptyset} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

C_v : carga sobre vertedero, $m^3/m.d$

Q : caudal, m^3/d

1.5.2.4 Aireación

El proceso de aireación es utilizado ampliamente en el tratamiento de aguas residuales en el cual se pone en contacto el aire con el agua, se basa en la transferencia de oxígeno directamente incrementando la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y al mismo tiempo liberando dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, la inyección de oxígeno al agua permite acelerar el crecimiento de bacterias aerobias y otros microorganismos los cuales mejoran la descomposición de la materia orgánica (Kemmer y McCallion, 1990 págs. 161-164).

- **Aireación mediante difusores**

La introducción de oxígeno al agua tiene por finalidad, la de transferir una cantidad necesaria y suficiente para la autodepuración de las aguas residuales a través de la oxidación biológica de la materia orgánica, por medio de diversos equipos de aireación como los difusores situados en el fondo de la laguna de aireación, que transfieren al líquido oxígeno a través de burbujas finas o gruesas dependiendo del equipo de aireación y el tipo de difusor (Rolim, 1999 págs. 5-8).

1.5.2.4.1 Ecuaciones de diseño de aireación mediante difusores

Para el proceso de aireación mediante difusores utilizamos los criterios de diseño de (Ramalho, 1990) y (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Volumen del tanque de aireación**

$$V_{TA} = \frac{\theta_c Y (S_0 - S) Q}{X(1 + K_d \theta_c)} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

V_{TA} : volumen del tanque de aireación, m³

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

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

S_0 : [DBO₅] en el afluente, kg/m³

S : [DBO₅] en el efluente, kg/m³

Q : caudal residual a tratar, m³/día

X : [SSV] en tanque de aireación, kg/m³

K_d : coeficiente de degradación endógena, día⁻¹

- **Profundidad del tanque**

$$V_{TA} = a \times H_{TA} \times P_{TA} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

V_{TA} : volumen del tanque de aireación, m³

a : ancho del tanque de aireación, m

H_{TA} : altura del tanque de aireación, m

P_{TA} : profundidad del tanque de aireación, m

- **Ancho del tanque**

$$a = 1,5 P_{TA} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

a : ancho del tanque de aireación, m

P_{TA} : profundidad del tanque de aireación, m

- **Tiempo de retención hidráulica**

$$\theta = \frac{V_{TA}}{Q} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

θ : tiempo de retención en el tanque, h

V_{TA} : volumen del tanque de aireación, m³

Q : caudal del agua residual a tratar, m³/día

- **Producción de lodo activado**
 - **Producción observada**

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Kd \times \theta_c} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

Y_{obs} : producción observada, kg/kg

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

Kd : coeficiente de degradación endógena, día⁻¹

θ_c : tiempo medio de retención celular

- **Producción diaria neta de lodo**

$$Px = Y_{obs} \times Q(S_o - S) \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

Px : producción diaria neta de fango activado, medida en terminos de SS volátiles, kg/día

Y_{obs} : producción observada, kg/kg

Q : caudal del agua residual a tratar, m³/día

S_0 : [DBO₅] en el afluente, kg/m³

S : [DBO₅] en el efluente, kg/m³

- **Purga desde el tanque de aireación**

$$Q_w = \frac{V_{TA}}{\theta_c} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

Q_w : caudal de purga de fango desde el tanque de aireación, m³/día

V_{TA} : volumen del tanque de aireación, m³

θ_c : tiempo de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, día

- **Caudal de recirculación**

$$\text{Tasa de recirculación} = \frac{Q_r}{Q} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

Q_r : caudal de recirculación, m³/día

Q : caudal, m³/día

- **Necesidad y transferencia de oxígeno**

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_0 - S)}{f} - 1,42 P_x \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

Q : caudal del agua residual a tratar, m³/día

S_0 : [DBO₅] en el afluente, kg/m³

S : [DBO₅] en el efluente, kg/m³

f : factor de conversión de DBO₅ en DBO_L : (0,45-0,68)

P_x : producción diaria neta de fango activado, kg/día

- **Caudal de aire necesario tomando en cuenta la eficiencia de transferencia de oxígeno en los equipos de aireación**
- **Caudal de aire teórico**

$$Caudal_{aire\ teórico} = \frac{\frac{kgO_2}{d}}{\rho\ aire \times F_{O_2}} \quad Ec. 27$$

Donde:

$Caudal_{aire\ teórico}$: caudal del aire teórico, m³/día

$kg \frac{O_2}{d}$: demanda teórica de oxígeno, kg/día

$\rho\ aire$: densidad del aire a condiciones estándar, kg/m³ (1,20 kg/m³) (Crites & Tchobanoglous, 2000).

F_{O_2} : fracción de oxígeno en el aire, kg/kg (0,2315) (Crites & Tchobanoglous, 2000).

- **Caudal de aire real**

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{Caudal_{aire\ teórico}}{e} \quad Ec. 28$$

Donde:

$Caudal_{aire\ real}$: caudal de aire real, m³/día

$Caudal_{aire\ teórico}$: caudal de aire teórico, m³/día

e : eficiencia

- **Demanda de aire**

$$Demanda_{aire\ real} = Caudal_{aire\ real} \times FS \quad Ec. 29$$

Donde:

$Demanda_{aire\ real}$: demanda de aire real, m³/día

$Caudal_{aire\ real}$: caudal de aire real, m³/día

FS : factor de seguridad

- **Potencia necesaria**

$$P_w = \frac{wRT_1}{29,7 ne} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

P_w : potencia necesaria para cada soplante

w : caudal de aire en peso, kg/s

R : constante universal de los gases, kJ/kmol °K

T_1 : temperatura absoluta a la entrada, °K

p_1 : presión absoluta a la entrada, atm

p_2 : presión absoluta a la salida, atm

n : k-1/k

k : 1,395 para el aire (Crites & Tchobanoglous, 2000).

e : eficiencia

1.5.2.5 *Coagulación-floculación*

Tanto la coagulación como la floculación son tratamientos químicos necesarios para la depuración de aguas residuales, entre los coagulantes más utilizados y eficaces están los iones metálicos divalentes y trivalentes, generalmente hierro y aluminio (Russell, 2012 pág. 252).

Este proceso se basa en la extracción de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual, provocando una rapidez de asentamiento de los sólidos, obteniéndose una clarificación efectiva de la muestra de agua residual (Kemmer y McCallion, 1990 pág. 81).

- **Coagulación**

El material coloidal presente en el agua, arcillas, sílice, sólidos orgánicos y residuos de organismos muertos, los tamaños de las partículas son muy diminutos, estas partículas se encuentran estabilizadas por cargas eléctricas negativas, haciendo que repela las partículas que las rodean, el tratamiento de coagulación se encarga de desequilibrar estos coloides neutralizando las fuerzas que los mantienen separados, gracias a la adición de coagulantes químicos y posterior agitación con sales de aluminio, sales de hierro y polielectrolitos (Kemmer y McCallion, 1990 págs. 81-83).

- **Coagulantes utilizados**

Son productos químicos que se adicionan al agua para producir una reacción con los componentes químicos del agua, siendo los más utilizados las sales de aluminio y hierro, entre los principales coagulantes encontramos:

- Sulfato de aluminio
- Aluminato de sodio
- Cloruro de aluminio
- Cloruro férrico
- Sulfato férrico
- Sulfato ferroso
- Polielectrolitos (ayudante de floculación) (Andía, 2000 pág. 14)

- **Floculación**

El proceso de floculación o también denominado mezcla lenta, es la aglomeración de coloides, en esta etapa se asocian las partículas floculadas formando una red lo suficientemente grandes para que puedan sedimentarse con facilidad, se utilizan sales de hierro y polímeros de alto peso molecular, estimulado por una mezcla lenta para evitar que se rompan los flóculos formados, este tratamiento es efectivo ya que a simple vista se identifica la clarificación del agua (Kemmer y McCallion, 1990 págs. 84-86).

- **Polielectrolito**

Son moléculas orgánicas solubles en el agua formados por largas cadenas de monómeros, estos reaccionan con el material coloidal y ayudan a enlazar las partículas individuales para formar los flóculos (Kemmer y McCallion, 1990 pág. 86).

- **Mezcla**

La mezcla es un proceso unitario de vital importancia ya que con esto se logra la dilución de aditivos químicos en el agua residual, generalmente en los tratamientos de coagulación – floculación, se lo realiza de distintas estructuras como el resalto hidráulico en canales abiertos, en tuberías, por bombeo, con mezcladores estáticos y mezcladores mecánicos (Crites, 2000 pág. 260).

- **Mezclador de paletas**

Estos mezcladores tienen la característica de girar lentamente, son muy utilizados para procesos de floculación que requieren de sulfato férrico o de aluminio, o ayudantes de coagulación como polielectrolitos y cal, la mezcla de estos se promueve gracias al movimiento de las paletas que

giran a bajas velocidades para favorecer la formación de los flóculos con un tiempo de retención de 10 a 20 minutos y permitan su posterior sedimentación (Crites, 2000 pág. 261).

1.5.2.5.1 Ecuaciones de diseño para el mezclador rápido mecánico

El diseño del mezclador rápido lo hacemos con referencia a (Rojas, 2006 págs. 57-111).

- **Volumen de la cámara de floculación**

$$V = Q \times t \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

V : volumen, m³

Q : caudal, m³/min

t : tiempo, min

- **Gradiente de velocidad para mezcladores mecánicos:**

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

G : gradiente de velocidad, s⁻¹

P : potencia introducida al agua, W

μ : viscosidad dinámica del agua, N s/m²

V : volumen del tanque, m³

- **Potencia disipada en la mezcla:**

$$P = G^2 V \mu \quad \text{Ec. 33}$$

- **Velocidad de rotación**

$$N = \left(\frac{P}{K \rho d^5} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

N : velocidad de rotación, rpm

P : potencia introducida al agua, W

K : constante para impulsores

ρ : densidad del agua, kg/m³

d : diámetro del impulsor, m

- **Volumen para una cámara cilíndrica**

$$V = \frac{\pi D^3}{4} \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

V : volumen, m³

D : longitud del tanque, m

- **Diámetro de la turbina**

$$d = \frac{D}{3} \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

d : diámetro de la turbina, m

D : longitud del tanque, m

$$H = D \quad \text{Ec. 37}$$

$$W = \frac{d}{5} \quad \text{Ec. 38}$$

$$h = d$$

Donde:

H : altura del tanque, m

D : longitud del tanque, m

W : ancho de las paletas del impulsor, m

d : diámetro de la turbina, m

h : altura del impulsor respecto al fondo, m

- **Ancho de las pantallas:**

$$e = \frac{D}{10} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

e : ancho de las pantallas o deflector, m

D : longitud del tanque, m

1.5.2.6 Filtración

Existen una diversidad de filtros, entre los más comunes están el filtro invertido o de medios mezclados, estos suelen emplear varios medios filtrantes de distintos tamaños y densidades, también esta el filtro de arena, que usa arena y gravilla para conseguir la filtración, para el diseño de estos se debe considerar el caudal, es un método relativamente sencillo y poco costoso, pero tambien muy eficaz (Russell, 2012 pág. 134).

- **Zeolita**

La zeolita es un mineral natural que es utilizado en el tratamiento de aguas residuales como material filtrante gracias a su disponibilidad y abundancia, debido a su porosidad, superficie específica y capacidad de intercambio catiónico se ha constituido como un medio filtrante mejor que la arena, al eliminar partículas contaminantes, metales pesados, malos olores y contaminantes orgánicos (ZeoCat, 2008).

- **Carbón activado**

El carbón activado es un material de origen vegetal caracterizado por poseer un amplio poder de adsorción de contaminantes, como gases, metales pesados, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, etc. Es comunmente utilizado en el tratamiento biológico de aguas residuales ya que su implementación es relativamente sencilla y además posee grandes ventajas. (GEDAR, 2000 págs. 2-3)

- **Arena**

La arena es utilizada en el tratamiento de aguas residuales como un medio filtrante, es uno de los más empleados en procesos lentos y rápidos, es un método sencillo ya que se puede construir en contenedores de concreto o plástico, hay que tener en cuenta la granulometría, el diámetro y la forma de los granos (Lesikar, y Enciso, 2000 págs. 1-4).

1.5.2.6.1 Ecuaciones de diseño para el filtro

Para el dimensionamiento del filtro de medios múltiples tomamos en cuenta los criterios de diseño de (Rojas, 2006 págs. 212-257).

$$\text{Tasa de filtración} = \frac{\text{Fuerza impulsora}}{\text{Resistencia del filtro}} \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

Tasa de filtración: determina el área requerida y pérdida de carga.

Fuerza impulsora: pérdida de presión en el filtro, la cual empuja el agua a través del filtro

Resistencia del filtro: resistencia que presenta el filtro al paso del agua, cuando esta limpio la resistencia es mínima.

- **Área del filtro:**

$$A = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}} \quad \text{Ec. 42}$$

- **Pérdida de energía**

$$h = 1,067 C_D \frac{1}{e^4} \frac{L v^2}{d g} \quad \text{Ec. 43}$$

- **Coefficiente de arrastre**

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0,34 \quad \text{Ec. 44}$$

- **Número de Reynolds**

$$N_{RE} = \frac{v d}{\nu} \quad \text{Ec. 45}$$

Donde:

h : pérdida de carga a través del lecho, m

C_D : coeficiente de arrastre

e : porosidad del lecho (volumen de vacíos/volumen del lecho)

L : profundidad del lecho, m

ρ : densidad del agua, kg/m³

d : diámetro característico de los granos, m

v : velocidad de filtración, m/s

g : aceleración de la gravedad, m/s²

N_{RE} : número de Reynolds

μ : viscosidad dinámica, Pa.s

ν : viscosidad cinemática, m²/s

- **Numero de filtros**

$$N = 0,44 \sqrt{Q} \quad \text{Ec. 46}$$

Donde:

N : número de filtros

Q : caudal de la planta, m³/día

1.5.2.7 Eras de secado

También llamados lechos de secado, los lodos provenientes del sistema de tratamiento deben ser estabilizados antes de poder reutilizarlos, una alternativa es la deshidratación la cual es un tratamiento físico para reducir el contenido de humedad y elevar el contenido de sólidos, el método más común es el secado de lodo en lechos de arena, deben estar sobre una capa de grava como soporte y tienen la ventaja de fácil manejo y no requieren de mayor cuidado (Crites y Tchobanoglous, 2000 págs. 677 – 681).

1.5.2.7.1 Ecuaciones de diseño de las eras de secado

Las ecuaciones de diseño para el dimensionamiento de las eras de secado se sigue en base a los criterios de (Crites y Tchobanoglous, 2000).

- **Área de las eras de secado**

$$A_{ES} = \frac{V_{Le}}{H_a} \quad \text{Ec. 47}$$

Donde:

A_{ES} : área de las eras de secado, m²

V_{Le} : volumen de lodos a extraerse, m³

H_a : profundidad de la aplicación, m

1.6 Normativa ambiental

La normativa ambiental aplicable que establece los límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público se rigen en base al Anexo I del Libro VI del TULSMA, TABLA 11, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Tabla 2-1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos sedimentables		ml/l	20
Sólidos suspendidos totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: (Anexo I Libro VI TULSMA, 2015 págs. 325-327)

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño experimental

2.1.1 Tipo de Estudio

El presente proyecto de investigación presenta como tipo de estudio los siguientes componentes: experimental, exploratorio y el método deductivo.

- **Experimental:** el investigador manipula las condiciones de la investigación, la planta de tratamiento de agua residual controlando cada uno de sus procesos así mismo controlando la calidad del efluente.
- **Método deductivo:** consiste en tomar conclusiones generales para explicaciones particulares, además sigue pasos específicos con la finalidad de cumplir un objetivo.
- **Exploratorio:** ya que para conocer el estado del agua residual se realizó una caracterización del efluente antes de su tratamiento.

2.2 Metodología

En el presente trabajo de investigación se identificó que en la empresa de lácteos “San Salvador”, no existe una separación de los vertidos del agua residual tanto de la producción como la del agua residual doméstica, efluentes que no tienen un adecuado tratamiento y tienen como destino final la red de alcantarillado de la ciudad de Riobamba.

Para lo cual se procedió a la obtención de muestras en la planta de lácteos para realizar la caracterización inicial del agua residual, resultados que serán comparados con la normativa ambiental del Ecuador específicamente en el TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), para descarga de aguas residuales al alcantarillado público, con la finalidad de identificar los parámetros que se encuentren fuera de los límites permisibles.

Obtenidos los resultados de la caracterización del agua residual láctea se procederá a realizar pruebas de tratabilidad seleccionando las más óptimas para el tratamiento de la misma, aplicando tratamientos físicos, químicos y biológicos. Realizados estos pre-tratamientos se obtendrán resultados que serán de guía para seleccionar las etapas de tratamientos adecuados para el diseño de la planta de tratamiento prototipo.

La validación del sistema de tratamiento del agua residual propuesto en el proyecto se demuestra en base a los resultados de los análisis obtenidos de la caracterización del efluente tratado, es decir el sistema de tratamiento tendrá validez cuando el agua residual que sea tratado por el prototipo y el resultado final del efluente tratado realizada su debida caracterización final cumpla con los límites de descarga existente en el TULSMA.

2.2.1 Localización de la investigación

El presente trabajo de titulación se lo desarrolló en la parroquia Rural de Licán que se encuentra ubicado en el Cantón Riobamba en la Panamericana Sur km 2 ½ vía a Guayaquil para el ensamblaje y pruebas experimentales en el prototipo propuesto, previo a los ensayos de tratabilidad realizados en el laboratorio de Calidad del Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo situada en la Provincia de Chimborazo, región Sierra del Ecuador, Cantón Riobamba, Panamericana Sur km 1 ½.

2.2.2 Muestreo

El muestreo se lo realizó en la empresa de lácteos “San Salvador” en la zona de almacenamiento y descarga de la materia prima que es el punto exacto donde convergen todos los efluentes de los procesos realizados en la planta, se tomaron muestras compuestas a fin de lograr obtener una muestra representativa ya que de esto dependerá la fiabilidad y credibilidad de los resultados que obtendremos.

La recolección de datos experimentales se lo desarrolló mediante la revisión de parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Libro VI, Anexo I, Tabla 11, verificando una serie de variables e indicadores de proceso, para así establecer los métodos y tratamientos adecuados, a la vez determinar las condiciones óptimas para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la empresa de lácteos “San Salvador”.

2.2.2.1 Planificación del muestreo

Se tomaron 3 muestras en diferentes días de la semana, identificando las horas de mayor producción de la planta para obtener muestras representativas, en un horario de 10 horas de trabajo. Se tomaron 6 muestras simples en un tiempo determinado, para después preparar una muestra compuesta de 6 litros, tanto para medir el máximo caudal como para la máxima contaminación del agua (Ver Anexo B). Obtenidas las muestras, 2 muestras fueron analizadas en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH y una muestra en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH.

2.2.2.2 Materiales utilizados

- Mandil
- Guantes
- Mascarilla
- Botellas de vidrio ámbar de 1 litro
- Botellas de plástico de 1 litro
- Balde plástico de 25 litros

2.2.3 Medición de caudales

Una vez identificado el punto exacto donde se va a realizar el muestreo, se procedió a determinar el caudal del agua residual producido por la planta de lácteos “San Salvador”. La determinación del caudal se basa en el método volumétrico utilizado para la medición de caudales pequeños, se utilizó un balde graduado de 25 litros de capacidad y un cronómetro, el mismo que capta el efluente registrando el tiempo que se demora en almacenar una determinada cantidad de fluido.

Esta técnica se la desarrolló durante 6 días, a partir de las 08:00 hasta las 18:00 horas, en intervalos de una hora, obteniéndose 10 mediciones por día, un total de 60 mediciones en los 6 días para la determinación del caudal más significativo.

Finalizado este procedimiento se aplicó la siguiente fórmula para la determinación del caudal.

$$Q = \frac{V}{t} \qquad \text{Ec. 48}$$

Donde:

Q : caudal, litros/s

V : volumen del recipiente, litros

t : tiempo de llenado, s

2.2.3.1 Materiales utilizados

- Balde de 2,5 litros
- Cronómetro
- Guantes
- Mandil
- Botas de caucho

2.2.4 Caracterización del agua residual

Los análisis para caracterizar el agua residual de la industria láctea “San Salvador” se realizaron en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, también se realizó un análisis adicional en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo (Ver Anexo I).

Los parámetros prioritarios empleados para el dimensionamiento de plantas de tratamiento de agua residual láctea son el pH, DBO₅, DQO, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos debido a que este tipo de efluentes presentan elevados niveles de cargas contaminantes de origen orgánico.

Al momento de la obtención de las muestras se tomó uno de los parámetros de forma in situ como fue el caso del pH, utilizando tiras de pH, las mismas que se utilizaron para medir este parámetro en las descargas críticas de la planta láctea. Así mismo se midió otro parámetro in situ, la temperatura con la ayuda de un termómetro.

2.2.4.1 Técnicas

Los ensayos realizados en el efluente, se los efectuó en base a las normas y técnicas APHA/AWWA/WPCF con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados y a la vez cumplir con los estándares de calidad dentro de los análisis y garantizar datos fiables.

Tabla 1-2: Métodos utilizados en el laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Parámetros	Unidad	Método
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	5210 – B
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C
Salinidad	%	Potenciométrico
Conductividad	mS/cm	2510 – C
pH	UND	4500 – B
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C
Nitritos	mg/l	HACH-375
Fosfatos	mg/l	4500 - P –D
Turbidez	NTU	2130 – B
Sólidos totales	mg/l	2540 – A
Sólidos sedimentables	mg/l	2540 – B
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.2.4.2 Análisis físico - químico y microbiológico del agua residual

Una vez obtenidas las muestras del agua residual, 2 muestras fueron transportadas al laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH para su respectiva caracterización, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 2-3.

El análisis del tercer muestreo se lo realizó en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH, se lo realizó como respaldo para tener una comparación con los resultados obtenidos en los análisis anteriores realizados en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH. Tabla 2-3.

Se realizó una nueva caracterización al efluente, ya que la planta de lácteos “San Salvador” introdujo nuevos productos al mercado, mediante el aprovechamiento del suero de la leche y los residuos de la producción del queso, obteniendo una nueva caracterización los cuales se presentan en la Tabla 7-3.

2.3 Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron con dos tipos de muestras de agua residual procedentes de la empresa de lácteos “San Salvador”, la primera contenía agua residual más suero lácteo y la segunda muestra contenía solamente agua residual. Análisis físico-químicos y microbiológicos se

efectuaron para ambos tipos de muestras, así como también las pruebas de tratabilidad para los dos tipos de muestras, se realizó estas pruebas en base al tipo de parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles con la finalidad de seleccionar las etapas y procesos de tratamiento más efectivos para el diseño de la planta de tratamiento.

2.3.1 Test de sedimentación

2.3.1.1 Materiales

- Balde de 25 litros
- Jarra de 3 litros
- Agua residual
- Cronómetro

2.3.1.2 Procedimiento

Este test se lo realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH, con una cantidad de 20 litros de muestra del agua residual de la planta de lácteos “San Salvador”, este efluente se colocó en un balde de capacidad de 25 litros, y se lo mantuvo en reposo durante 24 horas, a fin de recolectar la mayor cantidad de material sedimentado en el fondo del recipiente, transcurrido este tiempo se continuó con la siguiente etapa de tratamiento.



Fotografía 1-2: Prueba de sedimentación

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.3.2 Test de aireación

2.3.2.1 Materiales:

- Balde de 25 litros
- Bomba de aire de 5 Watts
- Mangueras plásticas

2.3.2.2 Procedimiento

Esta prueba se realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH, en la misma que se tomó una muestra de 20 litros de agua residual, se la colocó en un balde graduado de 25 litros y se adaptó una bomba de aire de 5 watts, la bomba conectada a dos mangueras plásticas que se depositaron en el fondo del balde añadido un peso adicional para que se fije en el fondo del recipiente para una aireación óptima, la bomba inyectó oxígeno durante 24 horas. (Ver Anexo D).

En esta prueba de tratabilidad se controlaron parámetros como la cantidad de oxígeno disuelto y la temperatura cada 24 horas durante 7 días a través de la utilización de un termómetro y para la determinación de oxígeno disuelto se trasladó una muestra al laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH utilizando una botella Wheaton para el análisis correspondiente y determinación de la cantidad de oxígeno disuelto a través de la siguiente ecuación tanto para las pruebas de tratabilidad como para las pruebas en el prototipo.

$$OD = \frac{ml \text{ tiosulfato} \times 0,025 \text{ normal} \times 8 \text{ Eq } O_2 \times 1000}{296} \quad \text{Ec. 49}$$



Fotografía 2-2: Aireación del agua residual

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.3.3 Test de jarras

2.3.3.1 Pruebas preliminares

Precedente a la prueba de jarras se realizó el ensayo de botellas con la finalidad de determinar la dosificación óptima para la clarificación del efluente residual, así mismo para reducir el gasto de los insumos químicos, para así aplicar la prueba de jarras ya establecida con la dosis adecuada; primero se realizaron ensayos con sulfato de aluminio y cloruro férrico al 25 %, a partir de la solución madre se colocó diferentes volúmenes en 1 litro de muestra de agua residual tanto para

el agua residual con el contenido de suero y el agua residual sin el contenido de suero con el procedimiento que se detalla a continuación:

2.3.3.2 *Materiales y equipos:*

- Balones aforados 100 ml
- Vasos de precipitación 1000 ml
- Pipetas graduadas 10 ml
- Pera
- Piseta
- Espátula
- Balanza analítica
- Vasos plásticos
- Equipo de jarras
- Equipo multiparámetro

– **Reactivos y sustancias**

- Agua destilada
- Coagulantes
 - Sulfato de aluminio
 - Cloruro férrico
 - Polielectrolito
- Agua residual

2.3.3.3 *Procedimiento*

En esta etapa de tratamiento, como primer paso se midió los siguientes parámetros pH, conductividad y turbidez del agua residual obtenida del proceso de sedimentación y aireación aplicado anteriormente, posterior se procedió a preparar cloruro férrico al 25 %, así se pesaron 25 g de reactivo y se diluyeron en agua destilada y aforamos en un balón de 100 ml obteniendo la solución madre, terminado este proceso se tomó el agua residual y colocamos 1 litro en 4 vasos de precipitación, a continuación se utilizó la pipeta para añadir distintas cantidades de coagulante en cada vaso, posterior en cada uno de los vasos se los colocó en el equipo de jarras, se los agitó entre un rango de 100 a 120 rpm durante un promedio de 5 a 7 minutos para una mezcla rápida y se dejó reposar durante un tiempo determinado, pasado el tiempo de reposo se tomó una solución de polielectrolito y en los 4 vasos de precipitación con la ayuda de la pipeta se colocó una mínima cantidad de solución de polielectrolito a cada uno y se lo agitó en un intervalo de tiempo reducido,

la agitación con la solución de polielectrolito fue menor en un rango de 30 a 60 rpm en una mezcla lenta, posteriormente se deja reposar durante varios minutos, este procedimiento se realizó de igual manera para todas las concentraciones preparadas (Ver Anexo D).

Realizado este proceso, se tomó el agua clarificada para la medición de los parámetros más representativos para la disminución de la carga contaminante como es la DBO₅, DQO, los parámetros controlados para esta prueba fueron la turbidez a concentraciones de cloruro férrico de 5, 10 y 25 % y la velocidad de rotación del equipo de prueba de jarras.



Fotografía 3-2: Prueba de jarras

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.3.4 Test de filtración

Una vez terminado el test de coagulación-floculación, se dio paso a la última etapa de pre-tratamiento, la prueba de filtración, se construyó un filtro natural el mismo que estaba constituido de materiales de origen natural enlistados a continuación:

- Arena
- Carbón activado
- Grava
- Zeolita

2.3.4.1 Materiales

- Botella plástica de 3 litros
- Aguja
- Envase de plástico
- Materiales de origen natural
- Vasos de precipitación de 1000 ml
- Estilete

- Soporte para el filtro
- Tapa de plástico

2.3.4.2 Procedimiento

Para la construcción del filtro, se utilizó una botella de plástico de 3 litros transparente, a este recipiente se le realizó un corte a una altura de 18 cm desde el fondo de la botella, el restante se usó como soporte para el filtro, además se realizó unos agujeros en la tapa de la botella para que pueda circular el agua residual.

Posteriormente se procedió a colocar los materiales de origen natural, antes de colocar estos materiales se los lavó repetidas veces debido a que en estos materiales existen impurezas que si no se los lava podría causar una saturación dentro del filtro, una vez realizado el lavado, primero se añadió la zeolita previa activación con cloruro de sodio al 15 % dejándola reposar durante 24 horas, se colocó una capa de zeolita de 4 cm, una segunda capa de 4 cm de carbón activado, finalmente una última capa de arena con la misma altura que las otras capas, una vez colocadas las capas se realizó unas pequeñas perforaciones en el fondo de la botella para permitir la circulación del efluente. Armado el equipo de filtración se realizó una previa prueba de filtración con el agua residual ya que la primera filtración se desecha, realizada esta previa prueba se añadió el efluente producto del pre-tratamiento de coagulación y floculación, y se procedió a su filtración y este producto final se lo caracterizó para conocer la eficiencia de este tratamiento (Ver Anexo D).



Fotografía 4-2: Montaje del filtro

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4 Diseño del sistema de tratamiento propuesto

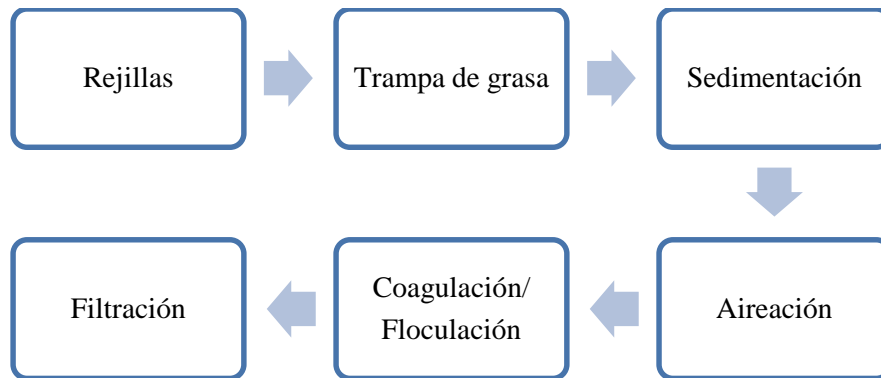


Figura 5-2: Sistema de tratamiento propuesto

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.1 Elaboración de planos del sistema de tratamiento

El dimensionamiento y elaboración de planos del sistema de tratamiento se realizó mediante la utilización del software AutoCAD 2015.

2.4.2 Construcción del prototipo

El agua residual de origen lácteo para su correcto tratamiento, una vez realizado los ensayos de tratabilidad con sus respectivos resultados, se ha propuesto el diseño de una planta de tratamiento ya identificadas las etapas resultado de las pruebas de tratabilidad, con la finalidad de demostrar que el sistema de tratamiento propuesto funciona adecuadamente, y para demostrar que es viable el tratamiento se optó por construir el prototipo, el mismo que va a representar todas las etapas del sistema de tratamiento escogidas y además demostrará que la planta cumple con los estándares de funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.4.2.1 Diseño del prototipo

2.4.2.1.1 Materiales

- Soporte de ángulo de hierro
- Balde de 20 litros h= 38 cm, d= 33 cm
- Baldes de 16 litros h= 31 cm, d= 31,5 cm
- Recipiente plástico rectangular de 20 litros h= 25 cm, largo= 46 cm, ancho= 35 cm
- Recipiente plástico rectangular de 15 litros h= 25 cm, largo= 38 cm, ancho= 29 cm

– **Accesorios**

- 8 Adaptadores de ½”
- 6 Válvulas esféricas roscables de ½”
- Codos de ½”
- Neplos corridos de ½”
- Neplos de 5 cm de ½”
- Neplos de 10 cm de ½”
- Tubo PVC de ½” de 6 m
- Tapones de ½”

– **Equipos**

- Agitador de revoluciones
- Bomba de aire de 5 Watts

– **Materiales de origen natural**

- Zeolita, diámetro: 4-7 mm
- Grava, diámetro: 5-10 mm
- Arena, diámetro: 0,5-1 mm
- Carbón activado, diámetro: 3-6 mm

– **Materiales de laboratorio**

- Probeta de 500 ml
- Balón de 250 ml
- Pipetas de 10 ml
- Pera
- Vasos de precipitación de 100 ml
- Piseta
- Varilla de agitación

– **Reactivos y Sustancias**

- Agua destilada

- Coagulantes
 - Sulfato de aluminio
 - Cloruro férrico
 - Polielectrolito
- Agua residual

2.4.2.2 Soporte del prototipo

Construido el soporte de hierro se lo trasladó a un área específica para el montaje (Ver Anexo F), se colocó las 6 tablas de madera en cada uno de sus espacios destinados, en cada una de estas tablas se realizaron perforaciones de diámetro de 7,5 cm, ya que por medio de estos orificios se van a descargar los lodos de las etapas de tratamiento como es el caso de la sedimentación, aireación, agitación, mientras que en la filtración se obtendrá el resultado final del sistema de tratamiento.

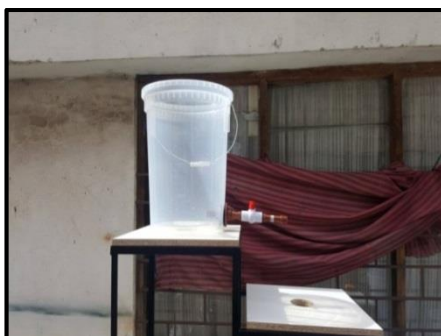


Fotografía 6-2: Soporte de ángulo de hierro

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.3 Tanque de almacenamiento

Se utilizó un recipiente plástico de 20 litros de capacidad con dimensiones de $h= 38$ cm, $d= 33$ cm, se realizó una perforación con una varilla caliente a una altura de 2 cm desde el fondo del recipiente, el mismo que formó un agujero de 2,2 cm diámetro, en el cual se instaló un adaptador de ½ pulgada que constaba de un caucho que servía como reten para que no exista fugas del efluente, una vez instalado el adaptador se colocó un nepló de 5 cm de ½ pulgada, seguido una válvula esférica roscable de ½ pulgada, sellado con teflón para evitar fugas (Ver Anexo F).

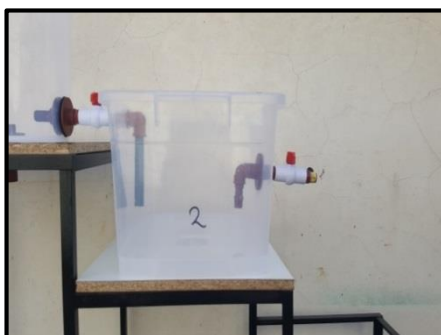


Fotografía 7-2: Tanque de almacenamiento

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.4 Trampa de grasa

En esta etapa se utilizó un recipiente de plástico rectangular de 20 litros con dimensiones de $h=25$ cm, $\text{largo}=46$ cm, $\text{ancho}=35$ cm, así mismo se realizaron dos perforaciones con una varilla caliente de diámetro de 2,2 cm, para la instalación de la tubería, en la primera pared donde se realizó la perforación a una altura de 21,5 cm desde el fondo del recipiente, se colocó un nepló de 5cm de $\frac{1}{2}$ pulgada seguido de un codo de $\frac{1}{2}$ pulgada y un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada de 14 cm sellados con teflón para evitar fugas, posteriormente en la siguiente pared donde se realizó la perforación a una altura de 12 cm desde el fondo del recipiente, se instaló un adaptador conectado a un nepló de 10 cm de $\frac{1}{2}$ pulgada y un codo de $\frac{1}{2}$ pulgada para la salida del efluente (Ver Anexo F).



Fotografía 8-2: Trampa de grasa

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.5 Sedimentador circular

Para esta etapa se utilizó un recipiente plástico circular de 16 litros $h=31$ cm, $d=31,5$ cm, en éste recipiente se realizaron 3 perforaciones, 2 perforaciones en las paredes del recipiente tanto para la entrada como la salida del efluente, en el orificio de entrada se realizó a una altura de 24 cm desde el fondo del recipiente, se conectó un nepló corrido de $\frac{1}{2}$ pulgada, continuado de un codo de $\frac{1}{2}$ pulgada y un nepló de 10 cm de $\frac{1}{2}$ pulgada, en el segundo orificio realizado a una altura de

2 cm se colocó el adaptador seguido de un nepllo corrido de ½ pulgada y una válvula esférica para la salida del efluente, y la última perforación realizada en el fondo específicamente en el centro del recipiente de plástico así mismo el orificio con un diámetro de 2,2 cm, para la descarga de lodos que se van a generar durante esta etapa de tratamiento (Ver Anexo F).



Fotografía 9-2: Sedimentador

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.6 Tanque de aireación

Para la etapa de aireación se utilizó un recipiente plástico circular de 16 litros con dimensiones de $h=31$ cm, $d=31,5$ cm, al igual que en el tanque de sedimentación se realizó 3 perforaciones con las mismas dimensiones, en la primera perforación, la de entrada del agua residual se conectó a partir de la válvula esférica un nepllo de 5 cm seguido de un codo de ½ pulgada y un nepllo de 10 cm de ½ pulgada, en la segunda perforación, la de salida del agua residual se instaló un adaptador con su respectivo caucho para evitar fugas del efluente, seguido de un nepllo corrido y una válvula esférica todos estos accesorios de ½ pulgada, en la tercera perforación se instaló un adaptador seguido de una válvula esférica para descargar los lodos generados durante la aireación, una vez armado el tanque de aireación, se fijó un lugar específico para colocar la bomba de aire de 5 watts y se conectó las mangueras que van a generar aire dentro del recipiente, estas mangueras se les añadió un peso adicional con la finalidad de sumergirlas para que el aire que genera el equipo se produzca desde el fondo del recipiente plástico.



Fotografía 10-2: Tanque de aireación

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.7 Tanque de agitación (coagulación - floculación)

Al igual que los recipientes de sedimentación y de aireación, se utilizó un recipiente de plástico circular de 16 litros $h= 31$ cm, $d= 31,5$ cm, se realizaron 3 perforaciones con las mismas dimensiones que los recipientes mencionados anteriormente y se los ensambló de la misma manera. Armado el recipiente se agregó un nuevo soporte de varilla, soldado por el área del tanque de aireación para fijar el equipo de agitación, el cual un agitador de revoluciones con regulador de velocidades compuesto por una paleta la misma que va a generar la mezcla; una vez instalado el equipo y fijado el recipiente plástico, se preparó las sustancias químicas que se va agregar durante el tratamiento (Ver Anexo F).



Fotografía 11-2: Tanque de agitación

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.8 Filtro

En esta etapa se utilizó un recipiente de plástico rectangular de 15 litros con dimensiones de $h= 25$ cm, largo= 38 cm, ancho= 29 cm, se realizó dos perforaciones a la altura de 23 cm desde el fondo del recipiente en la parte superior ya que se van a utilizar de sostén para colocar un 1 tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada de 35 cm largo, al cual se realizó perforaciones de 3 mm de diámetro para la descarga del efluente hacia el material filtrante, en total se realizaron 12 huecos con una separación de 2 cm de perforación a perforación.

Posterior se añadió los materiales de origen natural zeolita, carbón activado, arena y grava, en el caso de la zeolita previo a su colocación, primero se activó con cloruro de sodio al 15 % dejándola reposar durante 24 horas. Los demás materiales se los lavó bien con la finalidad de eliminar las impurezas. Una vez lavado y activado estos materiales se los trasladó hacia el recipiente rectangular, añadiendo primero una capa de soporte de grava, seguido de la capa de arena, posterior una capa de carbón activado, y finalmente la zeolita todas con 4,5 cm de altura (Ver Anexo F).



Fotografía 12-2: Filtro

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.2.9 Eras de secado

En esta etapa se colocó un recipiente de plástico rectangular de 15 litros $h= 35$ cm, largo= 59 cm, ancho= 40 cm, para la recolección de los sedimentos o lodos que se van a formar durante el funcionamiento de la planta de tratamiento prototipo, éste recipiente se encuentra debajo de los tanques de sedimentación, aireación y agitación, ya que en cada uno de estos se colocaron adaptadores en el fondo del recipiente para la descarga del efluente que por medio de tuberías se dirigirán hacia el recipiente rectangular, en cada adaptador se añadió válvulas de control para el desprendimiento controlado de los lodos.

2.4.3 Pruebas de control y funcionamiento del prototipo

Finalizada la construcción del prototipo y previo al tratamiento del agua residual láctea de la empresa “San Salvador” se realizó pruebas con agua potable con motivo de verificar el correcto funcionamiento de cada una de las etapas del sistema de tratamiento, al momento de añadir el agua se comprobó que no existía fugas del efluente, ya que los equipos se encontraron debidamente bien armados y sellados, así se verificó el estado de los mismos como el de aireación y el de agitación que no presentaron inconvenientes, al contrario el funcionamiento de estos equipos se encontraban en su máxima eficacia.

2.4.4 Funcionamiento y puesta en marcha del prototipo

Previo a la puesta en marcha, se recolectó el agua residual procedente de la planta láctea, un total de 60 litros para empezar con el funcionamiento del prototipo, 6 litros de la muestra se las destinó para una previa caracterización antes de empezar con el tratamiento; para la puesta en marcha del prototipo se midió el caudal de operación a través del método volumétrico.

2.4.4.1 Almacenamiento

Una vez obtenido los resultados de la caracterización del efluente (ver anexo I), el agua residual recolectada se colocó sobre un balde graduado de 20 litros, previo al ingreso se colocó una malla encima del recipiente de almacenamiento para que al momento del ingreso del agua residual queden retenidos los pequeños sólidos para que no exista saturación en las etapas del prototipo ya que pueden provocar un colapso, además se midió parámetros in situ como el pH, utilizando tiras de pH, también se tomó la temperatura mediante la utilización de un termómetro (Ver anexo G).



Fotografía 13-2: Almacenamiento del agua residual

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.4.2 Trampa de grasa

Una vez llenado el recipiente de almacenamiento a su máxima capacidad, es decir 20 litros, antes del ingreso del líquido cerramos la válvula esférica para que no se desprenda hacia el siguiente tratamiento. Completado los 20 litros se abrió la válvula esférica para que el líquido continúe hacia la siguiente etapa, la trampa de grasa, descargando los 20 litros que se encontraban en el tanque de almacenamiento aguardando unos minutos hasta que se vacié por completo el líquido, así mismo en la trampa de grasa se cerró la válvula para evitar el desprendimiento del líquido hacia el siguiente tratamiento, durante el llenado del efluente en la trampa de grasa se pudo observar como la grasa se retenía en la parte superior del líquido con un tiempo de retención de 3 a 4 horas, evidenciando que el sistema funcionaba adecuadamente. (Ver anexo G).



Fotografía 14-2: Trampa de grasa

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.4.3 Etapa de sedimentación

Posterior a la trampa de grasa se abrió la válvula para que el líquido se trasladara hacia el tanque de sedimentación, aguardando unos minutos y llenado el recipiente con 14 litros del efluente debido a que los 20 litros que se utilizó inicialmente se produjeron pérdidas en los anteriores tratamientos; con los 14 litros de agua residual se dejó en reposo durante 24 horas, así mismo se evidenció la formación de sedimentos en el fondo del recipiente, cumplidas estas horas se abrió la válvula para el paso del agua residual hacia la siguiente etapa de aireación, con un total de 12 litros se llenó el recipiente de aireación mientras que los otros 2 litros se quedaron retenidos en la etapa de sedimentación (Ver anexo G).



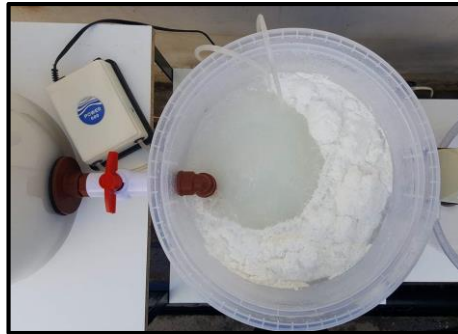
Fotografía 15-2: Sedimentación del efluente

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.4.4 Fase de aireación

Con los 12 litros de agua residual previamente cerrada la válvula de control para evitar el paso del líquido hacia la siguiente etapa, se encendió la bomba para que genere aire dentro del efluente durante 24 horas, completada las horas fijadas en este tratamiento, se presentó modificaciones en el estado del efluente, posterior se procedió abrir la válvula para que el efluente continúe hacia la siguiente etapa con un total de 10 litros que pasaron hacia el recipiente de agitación ya que 2 litros

de agua residual quedaron retenidos por la generación de sedimentos durante la etapa de aireación (Ver anexo G).

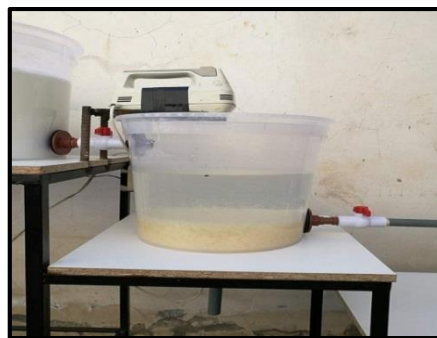


Fotografía 16-2: Proceso de aireación del agua residual

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.4.5 Fase de agitación

Una vez obtenido los 10 litros de agua residual en el recipiente, se comenzó a preparar la solución de cloruro férrico: 8 gramos en 100 ml de agua destilada, una vez bien diluida la solución química se la vertió en el efluente, se encendió el agitador, se reguló la velocidad a 100 revoluciones por minuto durante 5 minutos es decir una mezcla rápida, se lo dejó reposar el efluente durante 5 minutos, pasado este período de tiempo con una pipeta graduada de 10 ml y una pera se añadió 2 ml de solución de polielectrolito al 0,5 %, así mismo se encendió el equipo de agitación pero se reguló a una velocidad de 40 revoluciones por minuto (mezcla lenta), se agitó durante 5 minutos y se la dejó reposar durante 30 minutos. (Ver anexo G).



Fotografía 17-2: Agitación del agua residual

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.4.6 Fase de filtración

Finalizado el tratamiento químico se procedió a trasladar el agua residual hacia la última etapa del sistema de tratamiento, con los 10 litros se procedió abrir la válvula para el paso del efluente regulando la velocidad de salida para que el caudal sea moderado, el efluente se desprende en forma de pequeñas gotas con la finalidad de que el filtro no se sature debido a la fuerza de caída

del agua, una vez pasada el agua tratada por el filtro se la recolectó en un recipiente circular evidenciado una mejora en su calidad, posterior a esto se tomó una muestra para realizar una caracterización final para verificar la eficiencia de funcionamiento del prototipo (Ver anexo G).



Fotografía 18-2: Etapa de filtración

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

2.4.5 Parámetros controlados in-situ durante la puesta en marcha del prototipo

Para un correcto funcionamiento durante el proceso de depuración del agua residual láctea en el prototipo, se realizó un estricto control de los parámetros en cada una de las etapas de tratamiento con la finalidad de controlar como va disminuyendo cada uno de los diferentes parámetros a medida que el agua residual circula por cada uno de los procesos de tratamiento.

Como se mencionó previamente a la puesta en marcha del prototipo se realizó una caracterización del agua residual antes de su posterior tratamiento para que con los resultados obtenidos poder tener una referencia de cómo van disminuyendo los parámetros en cada una de las fases del sistema de tratamiento.

Los parámetros que se controlaron in situ durante el funcionamiento del prototipo fueron el pH y la temperatura, mientras que para medir parámetros como la DBO₅, DQO, sólidos totales, sólidos sedimentables, turbidez, oxígeno disuelto, se tomó una muestra para su posterior análisis en el laboratorio.

pH: se midió en las etapas de tratamiento de aireación, agitación, y filtración, este parámetro se lo realizó mediante la utilización de tiras de pH.

Temperatura: este parámetro se lo midió con un termómetro en cada una de las etapas de tratamiento mencionadas anteriormente.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo se lo realizó en la empresa de lácteos “San Salvador” para la toma de muestras, ubicada en el sector de la Dolorosa de coordenadas 17 M 762228.00 m Este 9814396.00 m Sur y para la fase de construcción y ensayos realizados en el prototipo propuesto en la Parroquia Rural de Licán del Cantón Riobamba con las coordenadas 17 M 755145.00 m Este 9817415.00 m Sur.



Figura 1-3: Mapa Político de Riobamba, ubicación del ensamblaje del prototipo

Fuente: Google Earth, 2017

3.1.1 Reconocimiento de la planta

El recorrido de la planta estuvo a cargo de la Ing. Sonia Rodas Espinoza Mgsc. Gerente de Producción de la empresa de lácteos “San Salvador”, con la ayuda de los operarios nos dirigió a cada una de las áreas de producción del establecimiento y se nos proporcionó la información necesaria de las operaciones realizadas para el proceso productivo de los diferentes productos elaborados por la empresa (Ver Anexo A).

3.1.2 Descripción de la empresa

El personal de la planta de lácteos “San Salvador” labora de lunes a sábado, en horario de 08:00 a 18:00 horas, durante estos períodos de tiempo la empresa elabora productos como queso fresco, queso de mesa, yogurt, leche, crema de leche, requesón, mantequilla y adicionalmente una nueva línea de productos incorporados en base al aprovechamiento de los residuos generados a partir del proceso productivo, como los residuos del queso y suero de la leche, tales como, requesón, queso ricotta.

3.2 Medición de caudales

La determinación del caudal se lo realizó a través del método volumétrico, los cuales se ensayaron varias veces para obtener un resultado con mayor precisión para lo cual se utilizó un balde graduado de 20 litros y un cronómetro.

Tabla 1-3: Datos de medición del caudal del agua residual de la empresa “San Salvador”

Hora	Unidad	Picos	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
(08:00)	l/hora		577,82	589,65	613,88	756,84	609,33	879,41
(09:00)	l/hora		785,21	856,18	921,25	762,75	516,45	469,22
(10:00)	l/hora	* (10:33-10:43)	2 092,36	2 365,31	2 456,55	2 100,66	2 678,17	2 914,26
(11:00)	l/hora		465,89	489,32	389,62	596,56	684,22	623,55
(12:00)	l/hora		259,32	566,25	798,22	864,36	345,15	384,61
(14:00)	l/hora	* (14:08-14:18)	2 345,98	3 365,82	2 278,86	2 758,34	2 692,14	2 008,05
(15:00)	l/hora		992,12	865,78	718,65	847,48	628,84	526,31
(16:00)	l/hora		354,32	423,65	497,33	715,48	398,59	854,61
(17:00)	l/hora		452,36	947,26	586,98	647,64	888,44	784,36
(18:00)	l/hora	* (17:50-18:00)	2 285,11	3 156,24	3 542,25	2 152,56	2 148,76	2 364,58
SUMATORIA	l/día		10 610,49	13 625,46	12 803,59	12 202,67	11 590,09	11 808,96
CAUDAL	m ³ /día		10,61	13,63	12,80	12,20	11,51	11,81
PROMEDIO	m ³ /día		12,11					

Realizado por: Nelson Albán, Cristian Jara 2017

Fuente: Empresa de lácteos “San Salvador”

La Tabla 1-3 muestra los datos obtenidos de la medición del caudal, la cual se lo realizó en una caja de revisión de descarga del efluente del proceso productivo ubicada en la zona de descarga y almacenamiento de la materia prima durante la jornada de trabajo diaria de 08:00 a 18:00 horas de lunes a sábado obteniendo un total de 60 mediciones, identificándose las horas picos de mayor producción: a las 10:00, 14:00 y 18:00 horas, en las cuales el volumen se incrementa debido a la descarga de agua residual por la finalización de cada parada de producción de la planta de lácteos “San Salvador”.

3.3 Caracterización del agua residual, análisis físicos, químicos y microbiológicos para el agua residual con suero

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos caracterizados de la empresa de lácteos “San Salvador” se realizó las 2 primeras muestras en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH y la tercera muestra en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH.

Tabla 2-3: Caracterización del agua residual lácteos “San Salvador” con suero

Parámetro	Unidad	Método	Resultado				Límite Tulsma
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B	2 054	2 392	2 184	2 210	100
Demanda biológica de oxígeno de O ₂	mg/l	5210 – B	23 500	15 100	29 732	22 777	250
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C	58 900	35 600	58 300	50 933	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C	1 770	1 660	2 100	1 843	
Salinidad	‰	Potenciométrico	1,6	1,5	1,9	1,6	
Conductividad	mS/cm	2510 – C	3,37	3,01	3,97	3,45	
Ph	UND	4500 – B	6,88	6,64	5,08	6,2	5-9
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C	2,1	7,9	18,7	9,5	
Nitritos	mg/l	HACH-375	0,001	0,039	0,072	0,037	
Fosfatos	mg/l	4500 - P –D	4,8	4,4	3,18	4	
Turbidez	NTU	2130 – B	9 900	2 280	1 074	4 418	
Sólidos totales	mg/l	2540 – A	46 236	28 488	42 676	39 133	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	2540 – B	80	30	86	65	20
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D	3 000	1 968	2 678	2 548	
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes	67 000	53 000	49 200	56 400	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH, Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH

Los resultados de la Tabla 2-3 demuestran la caracterización del agua residual de los tres tipos de muestras analizadas, encontrándose sobre la norma parámetros como la DBO₅ con un promedio de 22 777 mg/l y DQO con un promedio de 50 933 mg/l, los cuales están elevados debido a la cantidad de materia orgánica, principalmente por la presencia de lacto suero producto de la fabricación del queso, lo que hace que se incremente considerablemente la carga orgánica; la turbidez bastante alta con un promedio de 4 418 NTU ocasionado por la presencia de componentes de la leche, aceites y grasas muy elevados con un promedio de 2 210 mg/l provocado por los componentes de la leche misma como proteínas y grasas, los sólidos totales 39 133 mg/l muy altos debido al suero de la leche; valores muy elevados debido al alto contenido de suero presente en el agua residual y derrames accidentales de leche, el pH está en un valor neutro con un promedio de 6,2; los sólidos suspendidos 2 548 mg/l elevados por la presencia de partículas o impurezas presentes en la leche y residuos de la fabricación del queso, en el caso de los coliformes

fecales también altos con un promedio de 56 400 UFC causado por la mezcla con las aguas de servicio en la caja de revisión donde fue tomada la muestra; estudios realizados por (Bedoya, 2009) señalan que el agua residual de industrias lácteas contienen un orden de 40 000 – 50 000 mg/l de DBO₅ provocado por la presencia de suero lácteo producto de la fabricación del queso.

3.3.1 Pruebas de tratabilidad para el agua residual con suero

3.3.1.1 Prueba de aireación

La prueba de tratabilidad de aireación para el agua residual con suero se la realizó con un tiempo de retención de 7 días para monitorear la cantidad de oxígeno disuelto y la variación de la temperatura, la cual se presenta en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Resultados de variación de oxígeno disuelto

# Días	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)
1	3,3	17,4
2	1,8	17,6
3	2,3	17,9
4	2,7	18,0
5	3,3	18,2
6	3,8	18,5
7	4,2	18,7

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

En la Tabla 3-3 se observa los resultados de variación de oxígeno disuelto versus la temperatura durante el ensayo de tratabilidad de aireación en un lapso de 7 días, se monitoreó cada 24 horas; el valor inicial de 3,3 mg/l de agua residual cruda sin someterla a la prueba de aireación, posterior el segundo día realizada la prueba de aireación se obtuvo un valor de 1,8 mg/l, valor que indican una reducción elevada, esto se debe a la alta carga orgánica que presenta este tipo de efluentes, pero a medida que se sigue inyectando aire en los siguientes días, tanto el oxígeno disuelto como la temperatura se incrementan hasta llegar a un valor final de 4,2 mg/l, resultado que indica que se estabiliza el metabolismo microbiano, la temperatura se incrementa de una manera moderada provocado por la actividad microbiológica.

3.3.1.2 Prueba de jarras

Las pruebas de tratabilidad para el test de jarras se lo realizó utilizando dos tipos de coagulantes, sulfato de aluminio y cloruro férrico al 25 % para el agua residual con suero, los cuales se muestran en la Tabla 4-3 y 5-3 respectivamente, se controló la velocidad de agitación y la turbidez para cada caso empleado en 4 jarras con la adición progresiva de reactivo.

Tabla 4-3: Dosificación de coagulante

# Jarra	Unidad	Sulfato de aluminio 25 %	ppm	Mezcla rápida/ lenta (rpm)	Turbidez (NTU)
1	ml	2	500	100 - 40	753,21
2	ml	4	1000	100 - 40	947,23
3	ml	8	2000	100 - 40	841,35
4	ml	12	3000	100 - 40	559,46
Promedio					775,31

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 4-3 muestra la dosificación de sulfato de aluminio al 25 % realizado en 4 jarras de 1 litro de muestra y con 2, 4, 8, y 12 ml de $Al_2(SO_4)_3$, obteniéndose un valor total promedio de turbidez de 775,31 NTU para el agua residual con suero, lo cual indica una elevada turbidez promedio para el reactivo utilizado, este reactivo químico es de una buena remoción de contaminantes de origen orgánico, además este reactivo económicamente presenta precios en el mercado relativamente manejables con un valor de 11 ctvs. el gramo de $Al_2(SO_4)_3$, pero debido al alto contenido de materia orgánica (suero) no se logró reducir significativamente el valor de la turbidez.

Tabla 5-3: Dosificación de coagulante

# Jarra	Unidad	Cloruro férrico 25 %	ppm	Mezcla rápida/ lenta (rpm)	Turbidez (NTU)
1	ml	2	500	100 - 40	168,62
2	ml	4	1000	100 - 40	219,46
3	ml	8	2000	100 - 40	164,84
4	ml	12	3000	100 - 40	189,18
Promedio					185,6

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Los resultados mostrados en la Tabla 5-3 resume los valores obtenidos de dosificación de cloruro férrico al 25 % en 4 jarras con 1 litro de muestra de agua residual con 2, 4, 8 y 12 ml de FeCl₃, obteniendo un valor promedio de turbidez de 185,6 NTU, alcanzando una mejor clarificación y calidad del agua siendo confirmada con el valor de turbidez obtenido, el reactivo químico FeCl₃ durante su aplicación con el efluente se logró una mejor remoción de turbidez, pero debido al alto contenido de contaminantes de origen orgánico (suero) no se obtuvieron los resultados esperados a pesar de tener un porcentaje de remoción aceptable, este reactivo químico presento un buen índice de remoción pero a pesar de que su valor en el mercado es más elevado que el sulfato de aluminio, 14 ctvs. el gramo de cloruro férrico, se seleccionó este reactivo ya que se obtuvo mejores resultados.

3.3.2 Caracterización del agua residual luego de las pruebas de tratabilidad

Los resultados de los análisis del agua residual con suero luego de realizadas las pruebas de tratabilidad se presentan en la Tabla 6-3, los cuales se realizaron después de los tratamientos de aireación, coagulación – floculación utilizando como reactivo el cloruro férrico y la filtración; caracterizando todos los parámetros iniciales los cuales se realizaron en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH.

Tabla 6-3: Caracterización del efluente luego de realizar las pruebas de tratabilidad para el agua residual con suero.

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Límite Tulsma
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B	499	100
Demanda biológica de oxígeno de O ₂	mg/l	5210 – B	3 650	250
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C	5 800	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C	1 590	
Salinidad	‰	Potenciométrico	1,4	
Conductividad	mS/cm	2510 – C	2,94	
pH	UND	4500 – B	7,9	5-9
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C	12,1	
Nitritos	mg/l	HACH-375	0,054	
Fosfatos	mg/l	4500 – P –D	0,59	
Turbidez	NTU	2130 – B	185,56	
Sólidos totales	mg/l	2540 – A	8 888	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	2540 – B	< 1	20
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D	98	
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes	Ausencia de crecimiento	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 6-3 evidencia los resultados luego de realizar las pruebas de tratabilidad para el agua residual con el contenido de suero; se redujo considerablemente parámetros como la DBO₅ a 3 650 mg/l, DQO 5 800 mg/l, aceites y grasas 499 mg/l, turbidez 185,56 NTU, sólidos totales 8 888 mg/l, pero no se logró alcanzar la normativa debido al alto contenido de suero presente en el efluente y demás componentes de la leche lo cual dificulta su tratamiento, el pH se modificó debido al tratamiento químico aplicado utilizando el cloruro férrico pero aún se mantiene en el rango neutro con un valor de 7,9; en el caso de los coliformes fecales el tratamiento fue efectivo ya que se eliminaron totalmente de la muestra de agua residual; determinando un porcentaje de remoción de contaminación en un nivel del 80 % de eficiencia en los parámetros analizados.

3.4 Caracterización del agua residual, análisis físicos, químicos y microbiológicos para el agua residual sin suero

La caracterización de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua residual sin suero proveniente de la empresa de lácteos “San Salvador” se presentan en la Tabla 7-3, los cuales se realizaron en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH.

Tabla 7-3: Caracterización del agua residual lácteos “San Salvador” sin suero

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Límite Tulsma
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B	528	100
Demanda biológica de oxígeno de O ₂	mg /l	5210 – B	3 048	250
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C	5 080	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C	1 070	
Salinidad	‰	Potenciométrico	0,1	
Conductividad	mS/cm	2510 – C	2,03	
pH	UND	4500 – B	7,08	5-9
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C	1,47	
Nitritos	mg/l	HACH-375	0,003	
Fosfatos	mg/l	4500 – P –D	3,36	
Turbidez	NTU	2130 – B	186	
Sólidos totales	mg/l	2540 – A	4 652	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	2540 – B	< 1	20
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D	120	
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes	1 700	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Los resultados presentados en la Tabla 7-3 demuestra la caracterización del agua residual sin el contenido de suero, encontrándose una disminución considerable de todos los parámetros analizados como la DBO₅ 3 048 mg/l, DQO 5 080 mg/l, aceites y grasas 528 mg/l, sólidos totales 4 652 mg/l, turbidez 186 NTU, coliformes fecales 1 700 mg/l, gracias al aprovechamiento del máximo contenido de suero para la fabricación de diferentes productos incorporados en el proceso de producción en la empresa de lácteos “San Salvador” y también para el almacenamiento y posterior venta u obsequio de suero de leche para ser aprovechado como fuente de alimento para ganado facilitado a los proveedores de la materia prima; la ausencia de suero de leche factor principal para la disminución de los parámetros de carácter orgánico obteniéndose todos los valores fuera de la norma. Otros trabajos de titulación muestran resultados de caracterización de aguas residuales realizadas a empresas de lácteos con valores similares a los obtenidos, los cuales se recopilan en el gráfico 1-3.

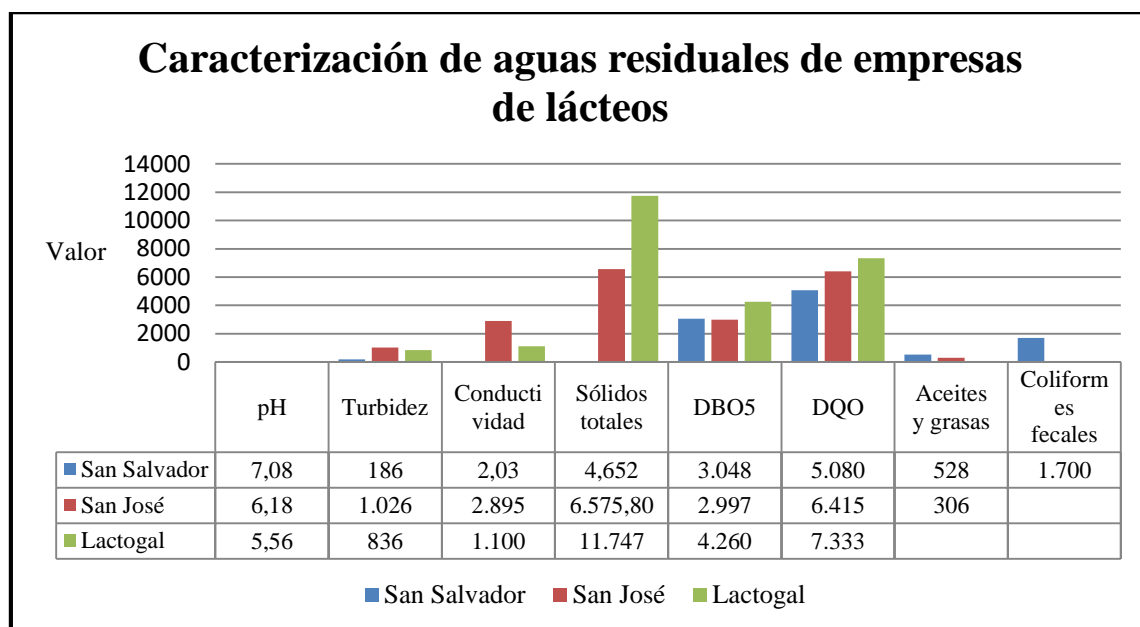


Gráfico 1-3: Comparación de resultados de caracterización del agua residual de la empresa de lácteos San Salvador de la ciudad de Riobamba, fábrica de lácteos San José del Cantón Pillaro y la planta de lácteos Lactogal del Cantón Mejía de la Provincia de Pichincha.

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 1-3 muestra los resultados de los parámetros de caracterización de tres tipos de empresas de lácteos en las cuales los valores del pH se mantienen en un rango neutro con un promedio de 6,3; la DBO₅ se mantiene en un promedio de 3 435 mg/l y la DQO con un promedio 6 276 mg/l, aceites y grasas con un promedio de 417 mg/l ya que no existe mayor variabilidad en los datos analizados para estas empresas de lácteos; según (Bedoya, 2009) la composición de las aguas residuales de industrias lácteas comprenden una DBO₅ entre 2 000 - 3 000 mg/l y una DQO

de 2 000 – 4 000 mg/l debido a las sustancias orgánicas disueltas, sales minerales y suspensiones coloidales de proteínas.

3.4.1 Pruebas de tratabilidad para el agua residual sin suero

Las pruebas de tratabilidad para el agua residual sin el contenido de suero se realizaron en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH pasando por la aireación, coagulación – floculación y filtración.

3.4.1.1 Prueba de aireación

La prueba de tratabilidad de aireación se realizó con el objetivo de monitorear la cantidad de oxígeno disuelto y la variación de temperatura, la cual se presenta en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Resultados de variación de oxígeno disuelto

# Días	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)
1	5,74	17,2
2	0,7	17,4
3	1,3	17,7
4	1,7	18,1
5	2,5	18,0
6	3,1	18,3
7	3,4	18,5

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 8-3 muestra los resultados de la variación de oxígeno disuelto y temperatura en la prueba de tratabilidad de aireación durante 7 días, en la cual se verificaron cada 24 horas con un valor inicial del agua cruda de 5,74 mg/l, la cual el segundo día disminuye drásticamente a 0,7 mg/l debido a la actividad microbiológica realizada por los microorganismos y se incrementa progresivamente en los días posteriores hasta llegar a 3,4 mg/l en el cual se estabiliza el metabolismo microbiano, el valor de la temperatura con un valor inicial de 17,2 °C y tiene un ligero aumento hasta llegar a 18,5 °C en el séptimo día, lo cual es provocado por la actividad microbiológica.

3.4.1.2 Prueba de jarras

Tabla 9-3: Variación de dosificación de coagulante

# Jarra	Unidad	Cloruro férrico 5 %	ppm	Mezcla rápida/ lenta (rpm)	Turbidez (NTU)
1	ml	4	200	100 - 40	559
2	ml	6	300	100 - 40	376
3	ml	8	400	100 - 40	408
4	ml	10	500	100 - 40	543
Promedio					471,5

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 9-3 muestra los resultados de dosificación de cloruro férrico al 5 % con la adición de 4, 6, 8 y 10 ml en 1 litro de muestra, para medir la turbidez la cual se mantiene en un rango elevado con un promedio de 471,5 NTU, a esta concentración de cloruro férrico al 5 % presento cambios el agua residual en su coloración pero su turbidez se mantenía relativamente alta, lo cual fue un indicador que la dosis de coagulante no es la adecuada para el tratamiento del efluente.

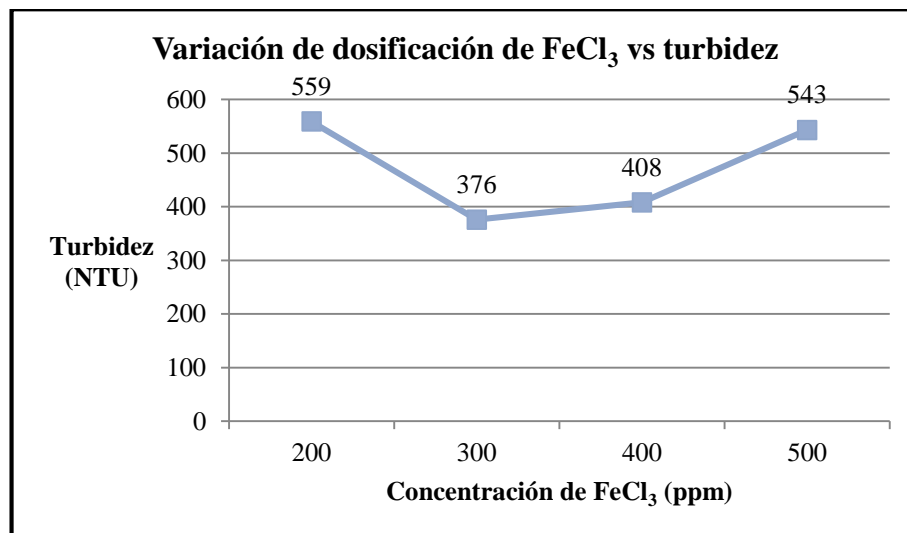


Gráfico 2-3: Pruebas de dosificación
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 2-3 muestra la curva de dosificación obtenida, en el cual el punto más bajo llega a 376 NTU al aplicar 6 ml de cloruro férrico que corresponde a una concentración de 300 ppm, en las siguientes concentraciones ocurre un incremento en la turbidez, indicador de que la dosis no es la adecuada para el tratamiento del agua residual.

Tabla 10-3: Variación de dosificación de coagulante

# Jarra	Unidad	Cloruro férrico 10 %	ppm	Mezcla rápida/ lenta (rpm)	Turbidez (NTU)
1	ml	4	400	100 – 40	67,74
2	ml	6	600	100 – 40	16,88
3	ml	8	800	100 – 40	4,15
4	ml	10	1 000	100 – 40	6,47
Promedio					23,81

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Los resultados presentados en la Tabla 10-3 muestra la dosificación de cloruro férrico al 10 % con 4, 6, 8 y 10 ml en 1 litro de muestra, obteniéndose un valor promedio de 23,81 NTU y logrando obtener a 8 ml en la jarra número 3 una turbidez de 4,15 NTU como mejor tratamiento, el efluente presento cambios como fue la clarificación a la vez obteniendo un valor de turbidez relativamente bajo, este es un indicador que la dosis aplicada al agua residual es la óptima para su tratamiento.

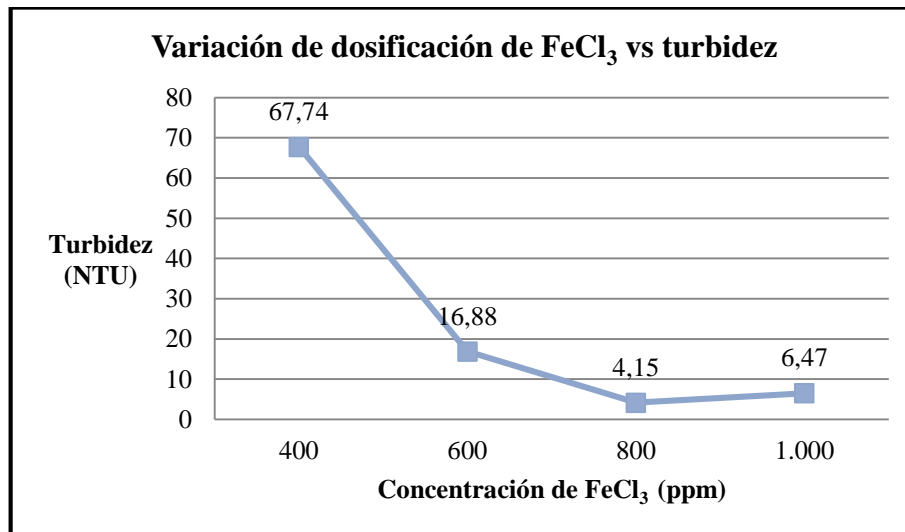


Gráfico 3-3: Dosificación óptima

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 3-3 presenta la curva de dosificación alcanzando una turbidez de 4,15 NTU al aplicar 8 ml de cloruro férrico al 10 % que corresponde a una concentración de 800 ppm como la concentración más eficaz para el tratamiento del agua residual, luego de esto se presenta un ascenso en la turbidez.

Tabla 11-3: Variación de dosificación de coagulante

# Jarra	Unidad	Cloruro férrico 25 %	ppm	Mezcla rápida/ lenta (rpm)	Turbidez (NTU)
1	ml	4	1 000	100 - 40	203,59
2	ml	6	1 500	100 - 40	197,23
3	ml	8	2 000	100 - 40	168,45
4	ml	10	2 500	100 - 40	159,20
Promedio					182,12

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 11-3 resume los resultados obtenidos de la dosificación de cloruro férrico al 25 %, aplicando la metodología anterior, posteriormente luego de la aplicación de polielectrolito y su respectiva agitación y reposo se obtuvo una turbidez promedio de 182,12 NTU, determinando que a esta concentración la turbidez se mantiene alta, demostrando que la dosis aplicada no es la más adecuada para este tratamiento.

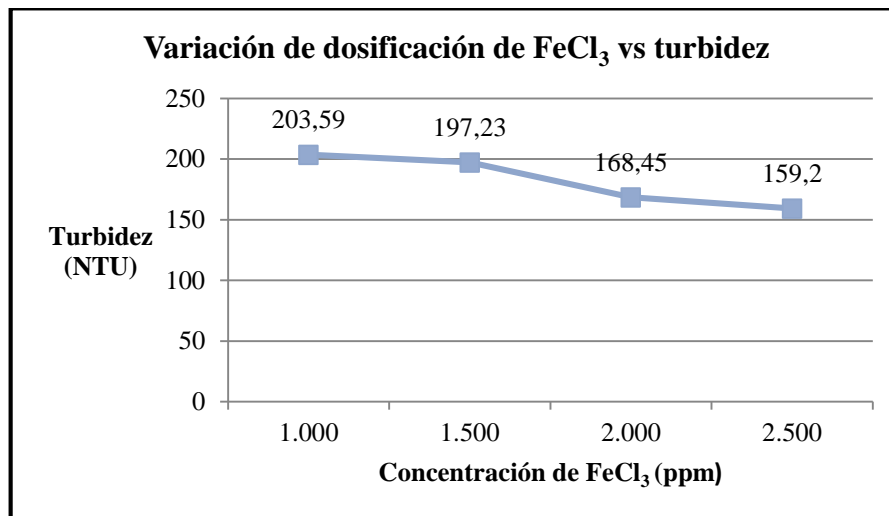


Gráfico 4-3: Prueba de dosificación
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 4-3 representa la curva de variación de dosificación de cloruro férrico al 25 % obteniendo una menor turbidez de 159,2 NTU al aplicar 10 ml de coagulante que corresponde a una concentración de 2 500 ppm.

Tabla 12-3: Caracterización del agua residual sin suero luego de realizadas las pruebas de tratabilidad

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Límite Tulsma
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B	55	100
Demanda biológica de oxígeno de O ₂	mg/l	5210 – B	246	250
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C	410	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C	770	
Salinidad	‰	Potenciométrico	0,2	
Conductividad	mS/cm	2510 – C	1,03	
pH	UND	4500 – B	6,56	5-9
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C	0,735	
Nitritos	mg/l	HACH-375	0,002	
Fosfatos	mg/l	4500 - P –D	0,75	
Turbidez	NTU	2130 – B	4,83	
Sólidos totales	mg/l	2540 – A	1 100	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	2540 – B	< 1	20
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D	84	
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes	Ausencia de crecimiento	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 12-3 muestra los resultados de la caracterización de todos los parámetros considerados luego de haber realizado las pruebas de tratabilidad para el agua residual sin suero, pasando desde la sedimentación, aireación, coagulación – floculación empleando el cloruro férrico al 10 % y la filtración a través de las capas de arena, carbón activado y zeolita; mostrando resultados como la DBO₅ 246 mg/l, DQO 410 mg/l, grasas y aceites 55 mg/l, pH 6,56; sólidos totales 1 100 mg/l, sólidos sedimentables menor a 1, turbidez 4,83 NTU, eliminando de esta manera el mayor contenido de carga orgánica provocado por la presencia de lacto suero en el agua residual y los componentes de la leche como proteínas y grasas; los resultados obtenidos muestran un porcentaje de remoción en un nivel del 90% de eficiencia y en comparación con los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado se encuentran dentro de la normativa ambiental, por lo cual se procedió a realizar el dimensionamiento del sistema de tratamiento con las etapas propuestas.

3.5 Dimensionamiento del sistema de tratamiento

3.5.1 Caudal

El caudal se determinó mediante la medición de caudales del agua residual tomado de la Tabla 1-3 el cual el promedio obtenido es de $12,11 \text{ m}^3/\text{día}$, que usaremos para el dimensionamiento:

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

$$Q = \frac{12,11 \text{ m}^3}{1 \text{ d}}$$

$$Q = 12,11 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.5.2 Caudal de diseño

Para determinar el caudal de diseño se debe considerar el factor de seguridad o mayorización (FM), el cual oscila entre 10% y 30% según estudios realizados por (Guaña, 2014) y (Paguay, 2013); en este caso consideramos el mayor con el 30%

$$Qd = Q + FM$$

$$Qd = 12,11 \text{ m}^3/\text{d} + 12,11 (0,3)$$

$$Qd = 15,74 \text{ m}^3/\text{d} = 0,000182 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.5.3 Diseño del canal rectangular

Tabla 13-3: Capacidad de conducción de agua en canales con revestimiento

Anchura del fondo (m)	Altura del agua (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0,02	0,05	0,10	0,15
0,30	0,30	20-30	30-40	40-60	40-60
0,50	0,40	40-70	70-120	100-160	100-160
0,80	0,60	140-240	230-370	320-530	320-530

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Estructuras de conducción de agua, FAO

- **Radio hidráulico**


Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b

Figura 1-3: Radio hidráulico

Fuente: Estructuras de conducción de agua, FAO

Para el diseño del canal rectangular tomaremos los criterios de diseño de la FAO con valores de ancho de 0,30 m y la altura del agua de 0,30 m

$$Rh = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

$$Rh = \frac{0,30 \times 0,30}{0,30 + (2 \times 0,30)}$$

$$Rh = 0,10m$$

- **Área de la sección transversal mojada**

Utilizamos la ecuación de la continuidad:

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

$$A = \frac{0,000182 \text{ m}^3/\text{s}}{0,24 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,00076 \text{ m}^2$$

- **Altura efectiva**

Consideramos las dimensiones óptimas para un canal $b = 2 h$

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

$$h = \frac{A}{2h}$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,00076 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h = 0,019 \text{ m}$$

– **Altura del canal**

Para el diseño del canal de entrada el borde libre es de 0,3 m para el caudal de diseño

$$H = h + h_s$$

$$H = 0,019 \text{ m} + 0,30 \text{ m}$$

$$H = 0,32 \text{ m}$$

3.5.4 Cribado o rejillas

Tabla 14-3: Información de rejillas de limpieza manual y mecánica

Parámetro	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:			
Anchura	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras	mm	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical	grados	25-50	50-82,5
Velocidad de aproximación	m/s	150	150
Pérdida de carga admisible	mm	150	150

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996

– **Velocidad de aproximación del agua a la rejilla**

La velocidad de aproximación del agua a la reja se puede determinar a partir de la siguiente ecuación de Manning para la velocidad del agua, según criterios de Metcalf & Eddy

Tomamos los valores de coeficiente de Manning de 0,013 para material de hormigón y el gradiente hidráulico $S = 0,02 \%$

$$v = \frac{1}{n} R h^{2/3} S^{1/2}$$

$$v = \frac{1}{0,013} (0,10\text{m})^{2/3} (0,0002)^{1/2}$$

$$v = 0,24 \text{ m/s}$$

Tabla 15-3: Coeficiente de Manning para diferentes materiales

Material	Coeficiente de Manning
Hormigón simple	0,013
Asbesto cemento	0,011
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Acero corrugado	0,022
Acero galvanizado	0,016
Plomo	0,011
Plástico (PVC)	0,090
Madera (duelas)	0,012

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000

– **Sumatoria de la separación entre barras**

Consideramos el ancho del canal de 0,30 m y un valor medio para la separación entre barras de 35 mm y el ancho de las barras de 10 mm

$$b_g = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e$$
$$b_g = \left(\frac{300 \text{ mm} - 35 \text{ mm}}{10 \text{ mm} + 35 \text{ mm}} + 1 \right) 35 \text{ mm}$$
$$b_g = 241,11 \text{ mm} = 0,24 \text{ m}$$

– **Número de barras**

$$n = \frac{b_g}{e} - 1$$
$$n = \frac{241,11 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} - 1$$
$$n = 5,88 \approx 6$$

– **Longitud de las barras**

Tomamos como la pendiente en relación a la vertical el valor de 45 grados.

$$l_b = \frac{H}{\text{sen } \theta}$$
$$l_b = \frac{0,32 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$l_b = 0,45 \text{ m}$$

- **Área de espacios entre barras**

$$A_{eb} = b_g \times l_b$$

$$A_{eb} = 0,24 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$$

$$A_{eb} = 0,11 \text{ m}^2$$

- **Velocidad a través de la reja**

$$V = \frac{Q}{A_{eb}}$$

$$V = \frac{0,000182 \text{ m}^3/\text{s}}{0,11 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,0017 \text{ m/s}$$

- **Pérdidas de carga a través de una reja**

Aplica en caso de que las rejillas se encuentren limpias ya que la pérdida de carga aumentará con la acumulación de residuos en las rejillas

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

$$h_l = \frac{1}{0,7} \left(\frac{[0,0017 \text{ m/s}]^2 - [0,24 \text{ m/s}]^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_l = 0,0042 \text{ m}$$

3.5.5 *Trampa de grasa*

El dimensionamiento de la trampa de grasa simple considera la velocidad de flujo o también en función del tiempo de retención hidráulica.

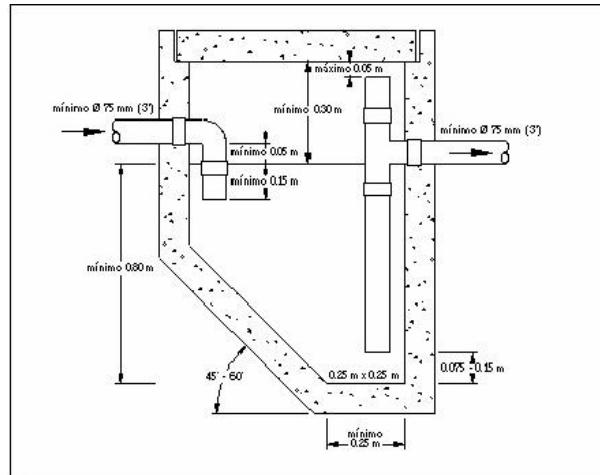


Figura 2-3: Diseño de una trampa de grasa

Fuente: OPS/CEPIS, UNATSABAR 2003

Tabla 16-3: Información de diseño de una trampa de grasa simple

Rango de caudales, l/s	Volumen de trampa de grasa, m ³	Dimensiones, m		
		Profundidad, H	Ancho, A	Largo, L
0-1	1,8	1,0	1,0	1,8
0-1	1,8	1,5	0,67	1,2
1-2	3,6	1,5	1,33	2,4
2-3	5,4	2,0	1,50	2,7
3-4	7,2	2,0	2,0	3,6
4-5	8,1	2,0	1,50	2,7

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Unatsabar, OPS/CEPIS 2010

– **Volumen de la trampa de grasa**

$$V_T = Q \times Tr$$

Tomamos el caudal de diseño el cual es $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$ el cual corresponde a $0,183 \text{ l/s}$, por lo tanto el volumen de la trampa de grasa sera $1,8 \text{ m}^3$

– **Tiempo de retención**

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

$$Tr = \frac{1,8 \text{ m}^3}{0,66 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$Tr = 2,73 \text{ h}$$

Las dimensiones restantes seran:

Profundidad= 1 m

Ancho= 1 m

Largo= 1,8 m

3.5.6 Sedimentador primario tipo circular

Tabla 17-3: Valores recomendados de carga superficial

Suspensión	Carga superficial (m ³ /m ² *d)	
	Intervalo	Caudal pico
Agua residual sin tratar	24-48	48
Flóculo de sulfato de aluminio	14-24	24
Flóculo de hierro	21-32	32
Flóculo de cal	21-48	48

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Tabla 18-3: Información típica para el diseño de tanques rectangulares y circulares utilizados en el tratamiento primario del agua residual

Tipo de tanque	Unidad	Valor	
		Intervalo	Típico
Rectangular			
Profundidad	m	3-4,5	3,6
Longitud	m	15-90	25-40
Anchura	m	3-25	5-10
Velocidad de los rascadores	m/min	0,6-1,2	0,9
Circular			
Profundidad	m	3-4,5	3,6
Diámetro	m	3-60	12-45
Pendiente de la solera	mm/m	6,25-16	8
Velocidad de los rascadores	r/min	0,02-0,05	0,03

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

– **Área del tanque de sedimentación**

Para la carga superficial tomamos un valor medio de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

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

$$A = \frac{15,74 \text{ m}^3/\text{d}}{35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}}$$

$$A = 0,45 \text{ m}^2$$

– **Radio del tanque de sedimentación**

$$A = \pi x r^2$$

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

$$r = \sqrt{\frac{0,45 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,38 \text{ m}$$

– **Diámetro del tanque de sedimentación**

$$\emptyset = 2 x r$$

$$\emptyset = 2 x 0,38 \text{ m}$$

$$\emptyset = 0,76 \text{ m}$$

Debemos tener en cuenta que según los criterios de Metcalf & Eddy recomienda el diámetro mínimo para sedimentadores circulares debe ser 3,0 m, así también la profundidad el valor de 3 m.

$$\emptyset = 3 \text{ m}$$

$$r = \frac{\emptyset}{2}$$

$$r = \frac{3 \text{ m}}{2}$$

$$r = 1,5 \text{ m}$$

$$A = \pi x r^2$$

$$A = \pi x (1,5 m)^2$$

$$A = 7,06 m^2$$

– **Reparto central en el tanque de sedimentación**

$$R_c = 0,25 x \emptyset$$

$$R_c = 0,25 x 3 m$$

$$R_c = 0,75 m$$

– **Volumen del tanque de sedimentación**

Para la profundidad del tanque tomamos el valor de 3,6 m según los criterios de Metcalf & Eddy

$$V = A x h_{TS}$$

$$V = 7,06 m^2 x 3,6 m$$

$$V = 25,42 m^3$$

– **Tiempo de retención teórico**

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

$$Tr = \frac{25,42 m^3}{0,66 m^3/h}$$

$$Tr = 38,52 h$$

– **Altura de reparto**

$$H_r = \frac{1}{4} x h_{TS}$$

$$H_r = \frac{1}{4} x 3,6 m$$

$$H_r = 0,9 m$$

– **Carga sobre vertedero de salida**

$$C_v = \frac{Q}{\pi \times \emptyset}$$

$$C_v = \frac{15,74 \text{ m}^3/d}{\pi \times 3 \text{ m}}$$

$$C_v = 1,67 \text{ m}^3/m \text{ d}$$

3.5.7 Aireación mediante difusores

– **Volumen del tanque de aireación**

Tabla 19-3: Valores estimados de coeficientes cinéticos para efluentes lácteos

Coefficiente	Unidad	Valor
Y	mgSSV/mg DQO	0,449
K _d	d ⁻¹	0,0017

Fuente: Cárdenas y otros, 2014

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

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

Modificación del proceso	θ_c, d	F/M Kg DBO ₅ aplicada/kg SSVLM d	Carga volumínica, kg DBO ₅ aplicada/m ³ /d	SSLM,mg/l	V/Q, h	Q _r /Q
Mezcla completa	5-15	0,2-0,6	0,80-1,92	2 500-4 000	3-5	0,25-1,0

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

$$V_{TA} = \frac{\theta_c Y (S_0 - S) Q}{X (1 + K_d \theta_c)}$$

$$V_{TA} = \frac{5d \times 0,449 \times (3,048 - 0,246) \frac{kg}{m^3} \times 15,74 \frac{m^3}{d}}{4 \frac{kg}{m^3} (1 + 0,0017 d^{-1} \times 5d)}$$

$$V_{TA} = 24,54 \text{ m}^3$$

$$S_0: 3\,320 \text{ mg/l} = 3,048 \text{ kg/m}^3$$

$$S: 246 \text{ mg/l} = 0,246 \text{ kg/m}^3$$

Consideramos el tiempo de retención $\theta_c = 10 \text{ d}$ según los criterios de Metcalf & Eddy, 1995 y también para el valor de la profundidad tomamos 4,6 m, entonces:

$$H_{TA} = 4,60 \text{ m}$$

– **Profundidad del tanque**

La relación ancho/profundidad para los tanques difiere entre 1:1 a 2,2:1 siendo el valor más utilizado 1,5:1, por lo tanto:

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

$$V_{TA} = 1,5 P_{TA} \times H_{TA} \times P_{TA}$$

$$P_{TA} = \sqrt{\frac{V_{TA}}{H_{TA} \times 1,5}}$$

$$P_{TA} = \sqrt{\frac{24,54 \text{ m}^3}{4,60 \text{ m} \times 1,5}}$$

$$P_{TA} = 1,89 \text{ m}$$

– **Ancho del tanque**

$$a = 1,5 P_{TA}$$

$$a = 1,5 \times 1,89 \text{ m}$$

$$a = 2,84 \text{ m}$$

– **Tiempo de retención hidráulica**

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

$$\theta = \frac{24,54 \text{ m}^3}{0,66 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\theta = 37,18 \text{ h}$$

– **Producción de lodo activado**

– **Producción observada**

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

$$Y_{obs} = \frac{0,449}{1 + 0,0017 \times 10}$$

$$Y_{obs} = 0,441 \text{ kg/d}$$

– **Producción diaria neta de lodo**

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

$$Px = 0,441 \times 15,74 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (3,048 - 0,246) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Px = 19,45 \text{ kg/d}$$

– **Purga desde el tanque de aireación**

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

$$Q_w = \frac{24,54 \text{ m}^3}{10 \text{ d}}$$

$$Q_w = 2,45 \text{ m}^3/\text{d}$$

– **Caudal de recirculación**

Tomamos el valor de la tasa de recirculación de 0,25 según los criterios de Metcalf & Eddy de la Tabla 20-3

$$\text{Tasa de recirculación} = \frac{Q_r}{Q}$$

$$Q_r = \text{Tasa de recirculación} \times Q$$

$$Q_r = 0,25 \times 15,74 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_r = 3,94 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

– **Necesidad y transferencia de oxígeno**

f : factor de conversión de DBO_5 en DBO_L : (0,45-0,68)

Tomamos un valor medio para el factor de conversión = 0,50

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_0 - S)}{f} - 1,42 P_x$$

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{15,74 \frac{m^3}{d} (3,048 - 0,246) \frac{kg}{m^3}}{0,50} - 1,42 \times 1,30 \frac{kg}{d}$$

$$kg, \frac{O_2}{d} = 112,82$$

– **Caudal de aire necesario tomando en cuenta la eficiencia de transferencia de oxígeno en los equipos de aireación**

– **Caudal de aire teórico**

$$Caudal_{aire\ teórico} = \frac{\frac{kgO_2}{d}}{\rho_{aire} \times F_{O_2}}$$

$$Caudal_{aire\ teórico} = \frac{112,82 \frac{kgO_2}{d}}{1,20 \frac{kg}{m^3} \times 0,2315}$$

$$Caudal_{aire\ teórico} = 406,12 \text{ m}^3/d$$

ρ_{aire} : 1,20 kg/m³ ; (Crites & Tchobanoglous), 2000

F_{O_2} : 0,2315 ; (Crites & Tchobanoglous), 2000

• **Caudal de aire real**

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

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{Caudal_{aire\ te\acute{o}rico}}{e}$$

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{406,12\ m^3/d}{0,08}$$

$$Caudal_{aire\ real} = 5\ 076,5\ m^3/d$$

- **Demanda de aire**

Se adopta un factor de seguridad de 2,0 m

$$Demanda_{aire\ real} = Caudal_{aire\ real} \times FS$$

$$Demanda_{aire\ real} = 5\ 076,5\ \frac{m^3}{d} \times 2,0$$

$$Demanda_{aire\ real} = 10\ 153\ \frac{m^3}{d} = 0,118\ \frac{m^3}{s}$$

- **Potencia necesaria**

$$P_w = \frac{wRT_1}{29,7\ ne} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = \frac{0,118\ \frac{m^3}{s} \times 8,314\ \frac{kJ}{kmol\ ^\circ K} \times 287\ ^\circ K}{29,7 \times 0,283 \times 0,80} \left[\left(\frac{1,42\ atm}{1\ atm} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = 4,37\ KW$$

R: 8,314 kJ/kmol °K

n: 0,283 para el aire

k: 1,395 para el aire

e: eficiencia (el rango usual para compresores, es 0,70 – 0,90) Crites & Tchobanoglous

3.5.8 Coagulación – floculación

- Mezclador rápido mecánico

Tabla 21-3: Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad dinámica, (Ns/m ²), $\mu \times 10^3$	Viscosidad cinemática, (m ² /s), $\nu \times 10^6$
0	999,8	1,781	1,785
5	1000,0	1,518	1,519
10	999,7	1,307	1,306
15	999,1	1,139	1,140
20	998,2	1,002	1,003
25	997,0	0,890	0,893
30	995,7	0,798	0,800
40	992,2	0,653	0,658

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000

Tabla 22-3: Valores de K para impulsores en tanques con baffles, régimen turbulento

Impulsor	K
Hélice, pitch cuadrado tres aletas	0,32
Hélice, pitch= dos, tres aletas	1,00
Turbina, seis aletas planas	6,30
Turbina, seis aletas curvas	4,80
Turbina ventilador, seis aletas	1,65
Turbina, seis aletas punta de flecha	4,00
Turbina paletas planas, dos paletas	1,70
Turbina de impulsor encerrado, seis aletas curvas	1,08
Turbina de impulsor encerrado con estator (sin baffles)	1,12

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Romero Rojas, 2006

- **Volumen de la cámara de floculación**

Tabla 23-3: Información típica para tanques de floculación

	Unidad	Valor	
		Intervalo	Típico
Floculación			
Tiempo de detención	min	20-60	30

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

$$V = Q \times t$$

$$V = 0,011 \frac{m^3}{min} \times 30 \text{ min}$$

$$V = 0,33 \text{ m}^3$$

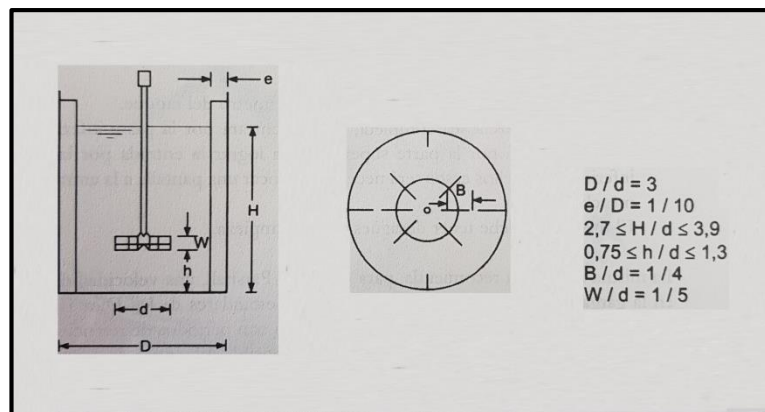


Figura 3-3: Cámara de agitación cilíndrica recomendada por Richter

Fuente: Romero Rojas, 2006

- **Gradiente de velocidad para mezcladores mecánicos:**

Tabla 24-3: Tiempo de contacto y gradiente de velocidad para mezcla rápida

Tiempo de contacto, s	G, s ⁻¹
20	1000
30	900
40	790
>40	700

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 201

Fuente: Romero Rojas, 2006

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}}$$

- **Potencia disipada en la mezcla:**

$$P = G^2 V \mu$$

$$P = (700)^2 \times 0,33 \text{ m}^3 \times 1,139 \times 10^{-3}$$

$$P = 184,18 \text{ W}$$

- **Con una eficiencia del motor del 80 %**

$$P = \frac{184,18 \text{ W}}{0,8}$$

$$P = 230,23 \text{ W}$$

Se adoptaría un motor de 230 W

- **Velocidad de rotación**

$$N = \left(\frac{P}{K \rho d^5} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = \left(\frac{184,18 \text{ W}}{1,70 \times 997,0 \times (0,25)^5} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 4,80 \text{ rps} = 288 \text{ rpm}$$

- **Volumen para una cámara cilíndrica**

$$V = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 0,33 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$D = 0,75 \text{ m}$$

- **El diámetro de la turbina sería:**

$$d = \frac{D}{3}$$

$$d = \frac{0,75}{3}$$

$$d = 0,25 \text{ m}$$

Las demás dimensiones serían:

$$H = D = 0,75 \text{ m}$$

$$W = \frac{d}{5}$$

$$W = \frac{0,25 \text{ m}}{5}$$

$$W = 0,05 \text{ m}$$

$$h = d = 0,25 \text{ m}$$

- **Ancho de las pantallas:**

$$e = \frac{D}{10} = 0,23 \text{ m}$$

$$e = \frac{0,75 \text{ m}}{10}$$

$$e = 0,075 \text{ m}$$

3.5.9 Filtración

Tabla 25-3: Variables para el diseño de filtros

Variable	Significado
1. Características del medio filtrante a) Tamaño del grano b) Distribución granulométrica c) Forma, densidad, y composición del grano d) Carga del medio	Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga.
2. Porosidad de lecho filtrante	Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro.

3. Profundidad del lecho filtrante	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera.
4. Tasa de filtración	Determina el área requerida y la pérdida de carga.
5. Pérdida de carga disponible	Variable de diseño

Fuente: Romero Rojas, 2006

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

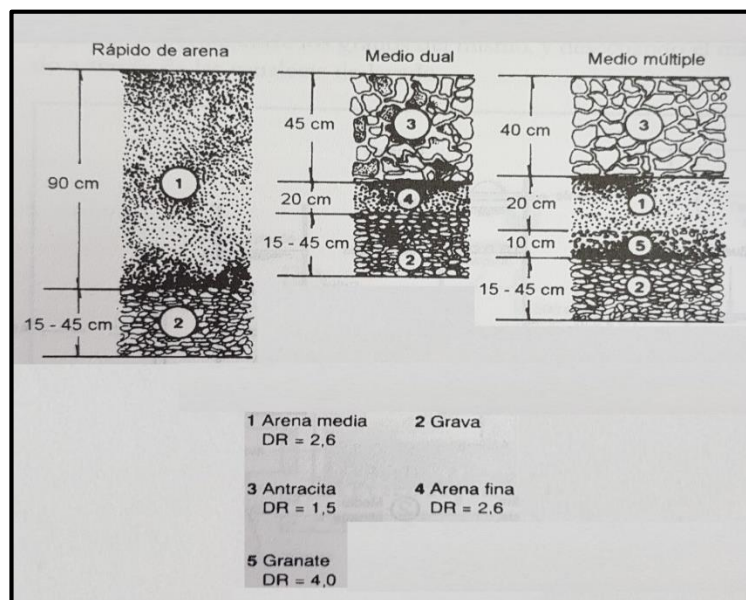


Figura 4-3: Filtro de lecho mezclado o medios múltiples

Fuente: Romero Rojas, 2006

Tabla 26-3: Información para el diseño de filtros

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5 (<12 m/d)	120 m/d	180/480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0,6m; Final: 1,2m	Inicial: 0,3m; Final: 2,4-3,0m	Inicial: 0,3m; Final: 2,4-3,0m
Agua de lavado	No usa	2-4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6 -1,0m	0,60-0,75m	Antracita 0,4-0,6m Arena 0,15-0,3m
Profundidad de grava	0,30m	0,30-0,45m	0,30-0,45m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada falsos fondos	Falsos fondos

Fuente: Romero Rojas, 2006

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

- **Área del filtro:**

Tomamos un valor medio para la tasa de filtración que es de 330 m/d

$$A = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}}$$

$$A = \frac{15,74 \text{ m}^3/\text{d}}{330 \text{ m/d}}$$

$$A = 0,048 \text{ m}^2$$

- **Pérdidas de energía a través de las capas de arena, carbón activado y zeolita**
- **Para la arena**

e : se asume el 50% (Romero Rojas, 2006)

$$h = 1,067 C_D \frac{1}{e^4} \frac{L v^2}{d g}$$

$$h = 1,067 \times 13,680 \times \frac{1}{0,5^4} \frac{0,30 \text{ m}}{0,0005 \text{ m}} \frac{(0,0038 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h = 0,021 \text{ m}$$

- **Para el carbón activado**

$$h = 1,067 \times 6,368 \times \frac{1}{0,5^4} \frac{0,50 \text{ m}}{0,0012 \text{ m}} \frac{(0,0038 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h = 0,007 \text{ m}$$

- **Para la zeolita**

$$h = 1,067 \times 6,855 \times \frac{1}{0,5^4} \frac{0,65 \text{ m}}{0,0011 \text{ m}} \frac{(0,0038 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h = 0,010 \text{ m}$$

- **Pérdida de energía total:**

$$H = 0,021 + 0,007 + 0,010$$

$$H = 0,038 \text{ m}$$

- **Coefficiente de arrastre**

- **Para la arena:**

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0,34$$

$$C_D = \frac{24}{2,127} + \frac{3}{\sqrt{2,127}} + 0,34$$

$$C_D = 13,680$$

- **Para el carbón activado:**

$$C_D = \frac{24}{5,106} + \frac{3}{\sqrt{5,106}} + 0,34$$

$$C_D = 6,368$$

- **Para la zeolita:**

$$C_D = \frac{24}{4,680} + \frac{3}{\sqrt{4,680}} + 0,34$$

$$C_D = 6,855$$

- **Número de Reynolds**

Como son lechos uniformes esféricos se tiene:

Tabla 27-3: Características de filtros de medio dual

Característica		Valor	
		Intervalo	Típico
Antracita	Profundidad, cm	20-60	46
	TE, mm	0,8-2,0	1,2
	CU	1,4-1,8	1,5
Arena	Profundidad, cm	25-60	30
	TE, mm	0,3-0,8	0,5
	CU	1,2-1,6	1,4

Fuente: Romero Rojas, 2006

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Tabla 28-3: Características de la zeolita

Zeolita	Profundidad, cm	50-80	65
	TE, mm	1,05-1,18	1,10
	CU	1, 71	1,71

Fuente: Gutiérrez y otros

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

- **Para la arena:**

$$N_{RE} = \frac{v d}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{0,0038 \frac{m}{s} \times 0,0005 m}{0,893 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$N_{RE} = 2,127$$

- **Para el carbón activado:**

$$N_{RE} = \frac{v d}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{0,0038 \frac{m}{s} \times 0,0012 m}{0,893 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$N_{RE} = 5,106$$

- **Para la zeolita:**

$$N_{RE} = \frac{v d}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{0,0038 \frac{m}{s} \times 0,0011 m}{0,893 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$N_{RE} = 4,680$$

- **Número de filtros**

$$N = 0,44 \sqrt{Q}$$

$$N = 0,44 \sqrt{15,74 m^3/d}$$

$$N = 1,75 \approx 2$$

Se toma el valor de 2 filtros, pero para fines de seguridad y por posibles colapsos se recomienda la implementación de 3 filtros.

Romero Rojas, 2006 indica que la relación óptima de L/W; longitud/ ancho está comprendida entre 3 y 6, sin embargo el diseño más común consiste de una forma cuadrada para los filtros.

Determinamos según los parámetros de diseño para los filtros de medios múltiples una capa de arena de 0,50 m, carbón activado 0,50 m, zeolita 0,75 m y una capa inferior de soporte de grava mediana de 0,20 m, teniendo así 1,95 m, más la altura de seguridad tendremos 2,50 m.

3.5.10 Eras de secado

Tabla 29-3: Parámetros de diseño para eras de secado

Parámetro	Unidad	Rango
Ancho	m	3-6
Capa de arena (espesor)	mm	200-300
Capa de fango (espesor)	mm	200-300
Capa de grava (espesor)	mm	51-200
Profundidad total útil	mm	400-600
Tamaño grano de arena	mm	0,30-0,75

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

- **Área de las eras de secado**

Tomamos el valor medio para la profundidad según los criterios de Metcalf & Eddy que corresponde a 500 mm = 0,5 m

Según los estudios realizados por (Barragan, 2015 pg. 89) para el volumen de lodos a extraerse en el tratamiento de efluentes lácteos para el diseño de eras de secado se tiene un valor de 12,90 m³ el cual vamos a utilizar en la siguiente ecuación:

$$A_{ES} = \frac{V_{Le}}{H_a}$$

$$A_{ES} = \frac{12,90 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}}$$

$$A_{ES} = 25,8 \text{ m}^2$$

Tomamos el valor medio de 4, 5 m para el ancho según Metcalf & Eddy y la longitud asumimos el valor de 6 m.

3.6 Diseño y construcción del prototipo

Para el diseño y construcción del sistema de tratamiento prototipo se consideraron todas las etapas de tratamiento propuesto y teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio y minimización de costos de producción se redujo a una escala promedio del 10 % los cuales se presentan en la Tabla. 30-3.

Tabla 30-3: Dimensiones de la planta de tratamiento prototipo

	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)
Soporte del prototipo	2,40	1,90	0,45
Trampa de grasa	0,46	0,25	0,35
Tanque de filtración	0,38	0,25	0,29
Eras de secado	0,59	0,35	0,40
	Alto (m)	Diámetro (m)	
Rejillas	0,06	0,33	
Tanque de almacenamiento	0,38	0,33	
Tanque de sedimentación	0,31	0,32	
Tanque de aireación	0,31	0,32	
Tanque de agitación	0,31	0,32	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

La Tabla 30-3 muestra los resultados del diseño de la planta de tratamiento prototipo de aguas residuales dispuesto las etapas de rejillas, trampa de grasa, sedimentación, aireación, coagulación – floculación y filtración asentadas sobre un soporte de hierro, utilizando recipientes de plástico de geometrías circulares y rectangulares, luego del ensamblaje para proseguir con las pruebas de tratamiento del agua residual en el prototipo construido (Ver Anexo K-i).

3.6.1 Pruebas con el prototipo

Antes de iniciar las pruebas con el sistema de tratamiento prototipo se determinó el caudal de operación que va a tener la planta de tratamiento a través del método volumétrico obteniendo un valor de 0,081 l/s, además se determinaron los parámetros in situ, pH con un valor de 6 y la temperatura del agua residual cruda fue de 26 °C al momento de tomar la muestra en la empresa de lácteos “San Salvador”.

3.7 Caracterización del agua residual sin suero antes de ingresar al prototipo

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos caracterizados se presentan en la Tabla 31-3 los cuales se realizaron en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH.

Tabla 31-3: Resultados de caracterización del agua residual.

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Límite Tulasma
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B	575	100
Demanda biológica de oxígeno de O ₂	mg /l	5210 – B	3 320	250
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C	5 348	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C	1 020	
Salinidad	‰	Potenciométrico	0,1	
Conductividad	mS/cm	2510 – C	1,86	
pH	UND	4500 – B	7,04	5-9
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C	2,12	
Nitritos	mg/l	HACH-375	0,002	
Fosfatos	mg/l	4500 – P –D	3,18	
Turbidez	NTU	2130 – B	167,1	
Sólidos totales	mg/l	2540 – A	4 270	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	2540 – B	< 1	20
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D	245	
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes	1 920	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Los resultados expuestos en Tabla 31-3 muestran los parámetros de la caracterización del agua residual sin el contenido de suero, el cual se realizó antes de ingresar al sistema de tratamiento prototipo, consiguiendo parámetros elevados encontrándose todos por encima de la norma, para tener un punto de partida y lograr una valoración final de resultados luego de los tratamientos implementados, así tenemos DBO₅ 3 320 mg/l, DQO 5 348 mg/l, grasas y aceites 575 mg/l, pH 7,04; turbidez 167,1 NTU, sólidos totales 4 270 mg/l, coliformes fecales 1 920 UFC.

3.7.1 Pruebas de tratamiento con el prototipo

Los resultados que se muestran a continuación fueron realizados después de los tratamientos de aireación, coagulación – floculación y filtración respectivamente al agua residual previamente caracterizada, para lo cual se controlaron los principales parámetros indicadores del contenido de materia orgánica como la DBO₅, y DQO; en la prueba de aireación se controló el nivel de oxígeno disuelto y la temperatura; en la coagulación – floculación la turbidez.

3.7.1.1 Aireación

Para el proceso de aireación se utilizó un motor de pecera para inyectar constantemente aire al agua residual por 24 horas y durante 7 días para su acondicionamiento y mejorar su tratabilidad para pasar a la siguiente etapa, además se midió la cantidad de oxígeno disuelto y la temperatura como parámetros de control.

Tabla 32-3: Resultados de variación de oxígeno disuelto

# Días	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)
1	5,4	17,0
2	0,9	17,3
3	1,5	17,5
4	1,9	17,9
5	2,4	18,2
6	2,8	18,5
7	3,5	18,8

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

En la Tabla 32-3 se representa los resultados de la variación del oxígeno disuelto y temperatura durante la prueba de aireación durante 7 días, se controló cada 24 horas, el valor inicial del agua cruda es de 5,4 mg/l sin someterla al ensayo de aireación, posterior ya una vez aireada la muestra se obtiene un valor de 0,9 mg/l indicando una severa disminución de oxígeno disuelto, esto se debe a la carga orgánica que presentan este tipo de agua residual, pero al continuar suministrando oxígeno en los siguientes días, el oxígeno disuelto como la temperatura presentan un incremento moderado hasta obtener un valor final de 3,5 mg/l con una temperatura de 18,8 °C, valores que señalan que hay una estabilización microbiana, y un incremento en la temperatura provocado por la actividad microbiológica.

- **Determinación de la DBO₅ y DQO**

Los análisis de la DBO₅ y DQO se los realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH después de la etapa de aireación del agua residual como parámetros de control y para la verificación de la variación de los parámetros analizados.

Tabla 33-3: Tratamiento del agua residual con aireación

Agua cruda		Agua tratada por 24 horas con aireación	
DBO ₅	3 048 mg/l	DBO ₅	2 860 mg/l
DQO	5 080 mg/l	DQO	4 740 mg/l

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 33-3 muestra los resultados de la aplicación del tratamiento de aireación al agua residual por 24 horas, obteniéndose una ligera reducción de DBO₅ y DQO, ya que el proceso de inyección de aire al agua residual es importante ya que estimulará el crecimiento de bacterias aerobias que degradaran con mayor rapidez la materia orgánica presente en el agua residual.

3.7.1.2 Coagulación – floculación

Para el proceso de coagulación - floculación en el prototipo se proyectó la dosificación óptima obtenida de las pruebas de tratabilidad para 1 litro de agua cruda; así se empleo como parámetros de control la turbidez y velocidad de mezcla obtenida de las pruebas de tratabilidad.

Tabla 34-3: Determinación de turbidez

Prueba	Unidad	Cloruro férrico 10 %	Mezcla rápida/ lenta (rpm)	Turbidez (NTU)
1	ml	80	100 – 40	23,45
2	ml	80	100 – 40	17,56
Promedio				20,51

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

Los resultados presentados en la Tabla 34-3 muestra la turbidez obtenida luego del tratamiento de coagulación – floculación al realizar dos pruebas en el prototipo con la adición de 80 ml de FeCl₃ al 10 % para tratar 10 litros de agua cruda; así se utilizaron 8 gramos de FeCl₃ diluidos en 100 ml de agua destilada y la adición de 2 ml de polielectrolito, se observó una notable clarificación del agua tratada luego de 30 minutos de reposo con una formación de flóculos grandes que precipitaban rápidamente, para lo cual se controló la turbidez con un promedio de 20,51 NTU, el costo del reactivo utilizado para las pruebas en el prototipo fue de 0,14 ctvs. por

cada gramo de cloruro férrico utilizado, lo que representó un gasto de 1,40 dólares para el tratamiento de 10 litros de agua cruda.

- **Determinación de la DBO₅ y DQO**

Los análisis de la DBO₅ y DQO se los realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH después del tratamiento de coagulación – floculación para determinar la reducción de los parámetros analizados.

Tabla 35-3: Tratamiento del agua residual con coagulación-floculación

Agua tratada por 24 horas con aireación		Agua tratada con coagulación – floculación	
DBO ₅	2 860 mg/l	DBO ₅	458 mg/l
DQO	4 740 mg/l	DQO	1 234 mg/l

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 35-3 muestra los resultados de la DBO₅ 458 mg/l y DQO 1 234 mg/l luego de la aplicación del tratamiento de coagulación – floculación con la dosificación establecida de cloruro férrico y polielectrolito, obteniéndose una clarificación inmediata del agua y una gran disminución de concentración de carga contaminante de alrededor del 78 %.

3.7.1.3 Filtración

La etapa de filtración del agua residual se lo realizó a través de las capas de arena con un diámetro de 0,5-1 mm, carbón activado con un diámetro de 3-6 mm y zeolita con un diámetro de 4-7 mm, con 4 cm de alto para cada una de las capas y una capa de soporte de grava de 2 cm con un diámetro de 5-10 mm.

- **Determinación de la DBO₅ y DQO**

Los análisis de la DBO₅ y DQO se los realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH después de la filtración del agua residual para verificar la reducción de estos parámetros.

Tabla 36-3: Tratamiento de filtración

Agua tratada con coagulación floculación		Agua tratada con filtración	
DBO ₅	458 mg/l	DBO ₅	246 mg/l
DQO	1 234 mg/l	DQO	410 mg/l

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 36-3 muestra los resultados del último tratamiento dispuesto del sistema, la filtración obteniendo los valores indicados para cumplir con la normativa ambiental para la descarga del efluente con una DBO₅ de 246 mg/l y la DQO 410 mg/l.

3.7.2 Caracterización final después del tratamiento con el prototipo

Para la caracterización final del agua residual se tomaron en cuenta los valores de DBO₅ y DQO determinados luego del tratamiento de filtración, posteriormente se analizaron todos los parámetros restantes considerados en la caracterización inicial antes de ingresar al sistema de tratamiento prototipo.

Tabla 37-3: Resultados de la caracterización final después del tratamiento

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Límite Tulsma
Grasas y aceites	mg/l	5520 – B	49	100
Demanda biológica de oxígeno de O ₂	mg /l	5210 – B	215	250
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220 – C	408	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	2540 – C	650	
Salinidad	‰	Potenciométrico	0,1	
Conductividad	mS/cm	2510 – C	1,23	
pH	UND	4500 – B	6,87	5-9
Nitratos	mg/l	4500 – NO ₃ C	0,579	
Nitritos	mg/l	HACH-375	0,001	
Fosfatos	mg/l	4500 – P –D	0,62	
Turbidez	NTU	2130 – B	3,45	
Sólidos totales	mg/l	2540 – A	850	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	2540 – B	< 1	20
Sólidos suspendidos	mg/l	2540 – D	22	
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membranas filtrantes	Ausencia de crecimiento	

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH

La Tabla 37-3 muestra los resultados obtenidos después del tratamiento con el prototipo, con el cual se ha logrado reducir significativamente todos los parámetros analizados pasando desde las rejillas, trampa de grasa, sedimentación, aireación, coagulación – floculación y filtración, así tenemos la DBO₅, 215 mg/l, DQO 408 mg/l, grasas y aceites 49 mg/l, pH 6,87; turbidez 3,45 NTU, sólidos totales 850 mg/l, sólidos sedimentables menor a 1 y coliformes fecales con ausencia de crecimiento, eliminando así el mayor contenido de suero de leche, componentes de la leche, proteínas y grasa presente en la muestra, lo que hace que se disparen la mayoría de parámetros de carácter orgánico; gracias a los tratamientos dispuestos se ha logrado cumplir con los límites máximos permisibles para que puedan ser descargados, tanto para las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio y comprobados con las pruebas en el sistema de tratamiento prototipo.

3.8 Resultados en porcentaje de remoción de contaminación

Para determinar el porcentaje de remoción de contaminantes luego de los tratamientos dispuestos en el prototipo se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$E_r = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

Donde:

E_r : porcentaje de remoción, %

S_o : Parámetro inicial, mg/l

S : Parámetro final, mg/l

3.8.1 Resultados de remoción de contaminantes después del tratamiento con el prototipo

Tabla 38-3: Porcentaje de remoción de contaminantes

Parámetro	Unidad	Valor inicial	Valor final	% remoción
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	3 320	215	93,52
Demanda química de oxígeno	mg/l	5 348	408	92,37
Aceites y grasas	mg/l	575	49	91,48
Sólidos totales	mg/l	4 270	850	80,10
Sólidos suspendidos	mg/l	245	22	91,02
Turbidez	NTU	167,1	3,45	97,94
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1 920	Ausencia	100
Promedio	%			92,35

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

La Tabla 38-3 resume los resultados de remoción de carga contaminante de los parámetros más representativos considerando el valor inicial o del agua cruda y el valor final luego de pasar por el sistema de tratamiento prototipo dispuesto con las etapas definidas y en relación con los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público establecidos en el TULSMA, obteniéndose un porcentaje promedio de 92,35 % en todos los parámetros analizados, reflejando la eficiencia del tratamiento aplicado al agua residual, suficiente para cumplir con la normativa ambiental.

3.8.1.1 Resultados de remoción de DBO₅

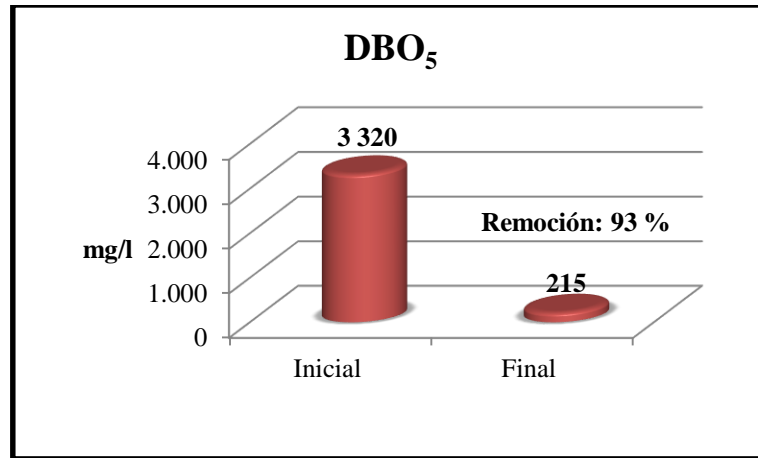


Gráfico 5-3: Porcentaje de remoción de DBO₅
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 5-3, se determinó la DBO₅ con un valor inicial de 3 320 mg/l resultado de la caracterización del agua residual de la empresa de lácteos “San Salvador” y luego de realizado el sistema de tratamiento propuesto se obtuvo un valor de 215 mg/l para el agua residual tratada con una eficiencia de remoción de carga contaminante del 93 %.

3.8.1.2 Resultados de remoción de DQO

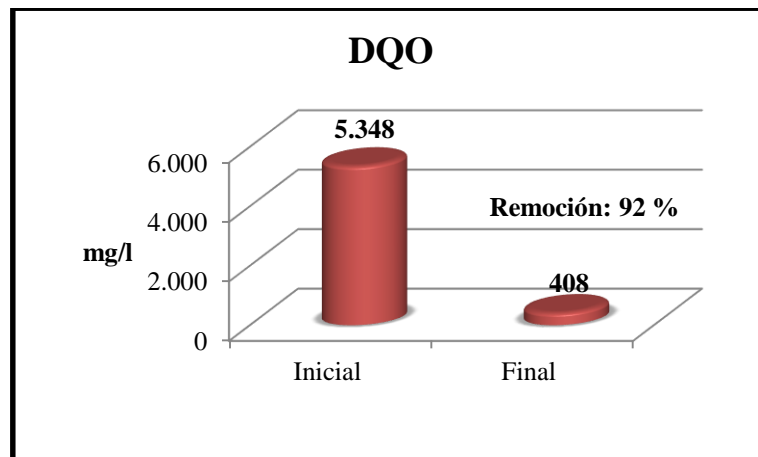


Gráfico 6-3: Porcentaje de remoción de DQO
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 6-3, se representa la DQO con un valor inicial de 5 348 mg/l correspondiente a la caracterización del agua residual y posterior con el tratamiento con un valor de 408 mg/l para el agua residual tratada con un porcentaje de remoción de contaminación del 92 %.

3.8.1.3 Resultados de remoción de aceites y grasas

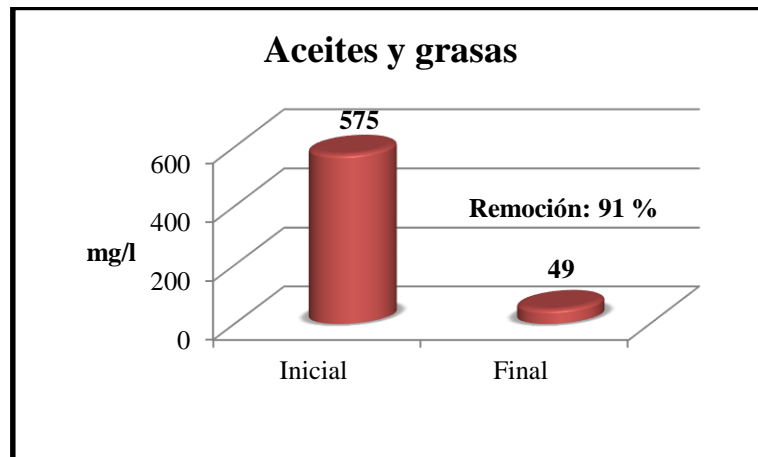


Gráfico 7-3: Porcentaje de remoción de aceites y grasas
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 7-3, se muestran los valores obtenidos de aceites y grasas con un valor inicial de 575 mg/l para la caracterización del agua residual y luego de pasar por el sistema de tratamiento se obtuvo un valor de 49 mg/l para el agua tratada con una eficiencia de remoción del 91 %.

3.8.1.4 Resultados de remoción de sólidos totales

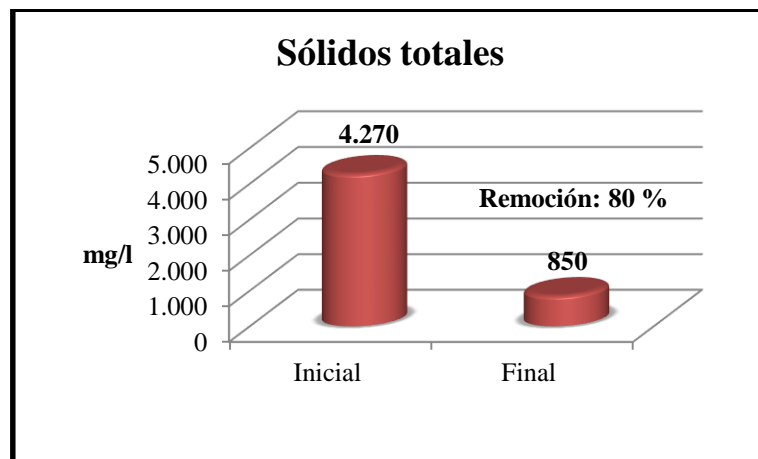


Gráfico 8-3: Porcentaje de remoción de sólidos totales
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 8-3, se determinó el valor inicial antes de ingresar al sistema de tratamiento de los sólidos totales resultado de la caracterización del agua residual con un valor de 4 270 mg/l y posteriormente el valor del agua tratada con 850 mg/l con un porcentaje de remoción de contaminación del 80 %.

3.8.1.5 Resultados de remoción de sólidos suspendidos

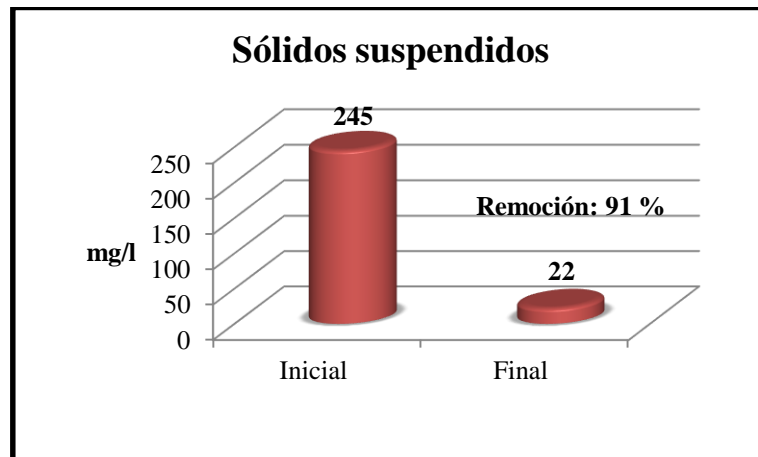


Gráfico 9-3: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 9-3, se representa los resultados de los sólidos suspendidos determinados en la caracterización del agua residual con un valor de 245 mg/l y después de realizar el tratamiento se obtuvo un valor de 22 mg/l, obteniéndose una remoción del 91 %.

3.8.1.6 Resultados de remoción de turbidez

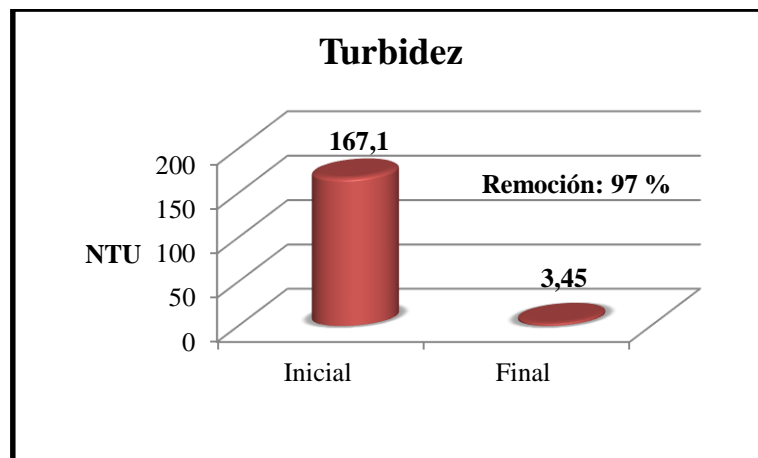


Gráfico 10-3: Porcentaje de remoción de turbidez
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 10-3, se presentan los valores de turbidez de la caracterización del agua residual con un valor de 167,1 NTU y luego del sistema de tratamiento propuesto un valor de 3,45 NTU para el agua residual tratada, alcanzando una remoción del 97 %.

3.8.1.7 Resultados de remoción de coliformes fecales

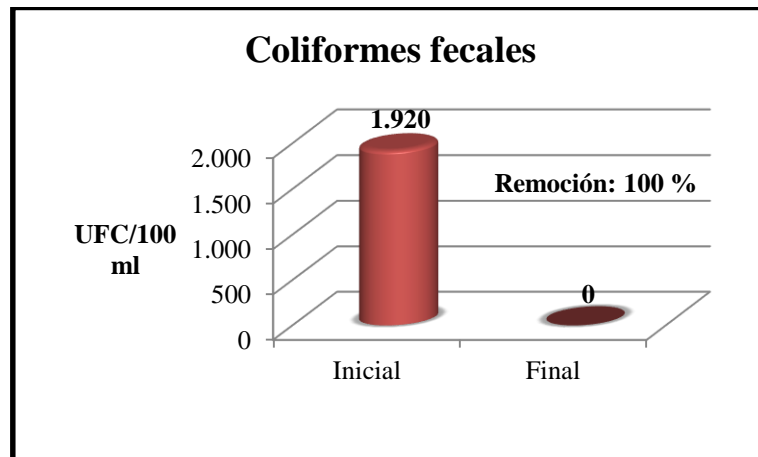


Gráfico 11-3: Porcentaje de remoción de coliformes fecales
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En el gráfico 11-3, se representa la caracterización del agua residual para los coliformes fecales con un valor de 1 920 mg/l y después del tratamiento propuesto la caracterización del agua tratada con un valor de 0 mg/l demostrando así la eficiencia del proceso de tratamiento dispuesto obteniéndose una remoción del 100 % de contaminación del agua con coliformes fecales.

3.9 Discusión de resultados

3.9.1 Resultados de la medición del caudal

Tabla 39-3: Datos promedio del caudal

Día	Caudal m ³ /d
Lunes	10,61
Martes	13,63
Miércoles	12,80
Jueves	12,20
Viernes	11,59
Sábado	11,80
Promedio	12,11

Realizado por: Nelson Albán, Cristian Jara 2017

La Tabla 39-3 resume los valores de descargas durante los días de trabajo de lunes a sábado y dado que los caudales determinados son homogéneos debido a la inexistencia de una mayor variabilidad en la producción diaria se establece el caudal de 12,11 m³/d, el mismo que nos

permitió dimensionar las etapas del sistema de tratamiento propuesto como el caudal de agua residual generado por la empresa de lácteos “San Salvador”.

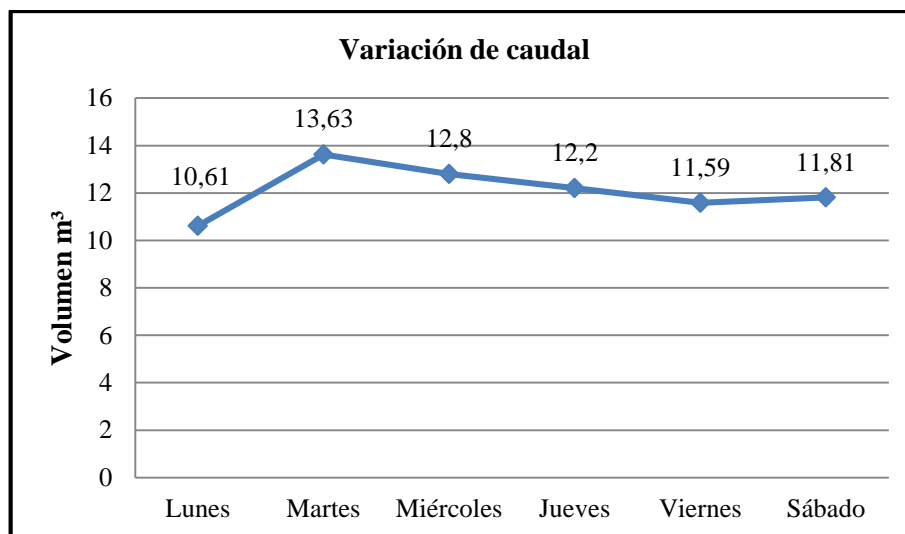


Gráfico 12-3: Variación del caudal durante los días de la semana
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 12-3 muestra la curva de variación del caudal de lunes a sábado, observando un incremento en el volumen en el día martes debido a la limpieza de equipos, materiales e instalaciones en la planta de lácteos “San Salvador”, el cual se lo realiza una vez al mes.

3.9.2 Resultados de la caracterización del agua residual

3.9.2.1 Agua residual con suero

Los resultados para la caracterización del agua residual con suero obtenidos en la Tabla 2-3, luego de la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos muestran elevados niveles de contaminación principalmente de tipo orgánico como DBO₅ y DQO ya que los valores se incrementan a causa del alto contenido de suero de leche presente en el efluente, modificando también un incremento en la turbidez, sólidos totales y disueltos, aceites y grasas.

3.9.2.2 Agua residual sin suero

Los resultados para la caracterización del agua residual sin el contenido de suero obtenidos en la Tabla 7-3, analizados los parámetros físicos, químicos y microbiológicos muestran elevados niveles de contaminación de carácter orgánico ocasionado por la presencia de residuos de origen lácteo en el efluente; los cuales en comparación con los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual con suero muestran una efectiva reducción de la DBO₅ y DQO, sólidos totales y disueltos, aceites y grasas, turbidez.

3.9.3 Resultados pruebas de tratabilidad

3.9.3.1 Prueba de jarras agua residual con suero

Los resultados de las pruebas de tratabilidad aplicadas para el agua residual con el contenido de suero, en la prueba de jarras, se utilizó como reactivos el sulfato de aluminio y cloruro férrico al 25 % se presentan en las Tablas 4-3 y 5-3 respectivamente, obteniendo mejores resultados de clarificación y confirmado con el resultado de turbidez promedio obtenido para el sulfato de aluminio 775,31 NTU y para el cloruro férrico 185,6 NTU.

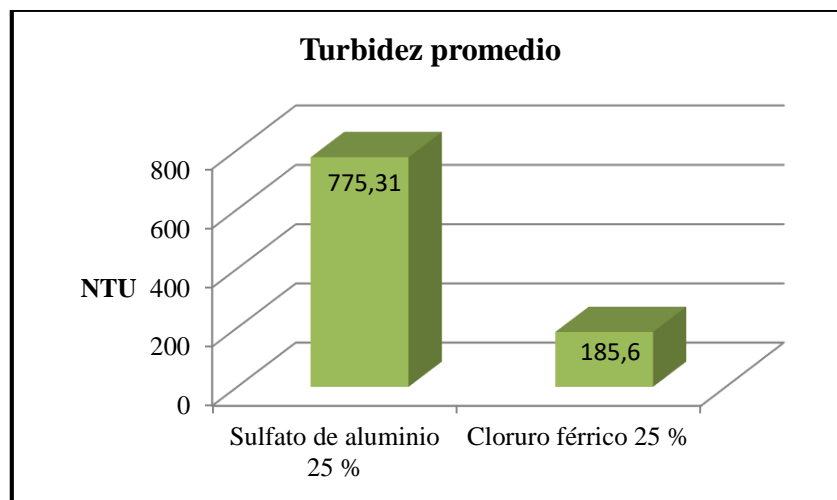


Gráfico 13-3: Turbidez promedio con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 13-3 muestra los resultados de turbidez promedio obtenidos al utilizar sulfato de aluminio y cloruro férrico al 25 % para la prueba de jarras para el agua residual con suero, alcanzando 185,6 NTU con el FeCl_3 al 25 % como coagulante más eficaz para el tratamiento del agua residual.

3.9.3.2 Prueba de jarras agua residual sin suero

Para las pruebas de tratabilidad para el agua residual sin el contenido de suero, se utilizó únicamente cloruro férrico como coagulante ya que se obtuvieron mejores resultados de turbidez en comparación con el sulfato de aluminio, para esta prueba se utilizó FeCl_3 a concentraciones de 5, 10 y 25 %, obteniendo mejores resultados de clarificación en la concentración al 10 % con una turbidez de 23,81 NTU, el cual se muestra a continuación en el gráfico 14-3.

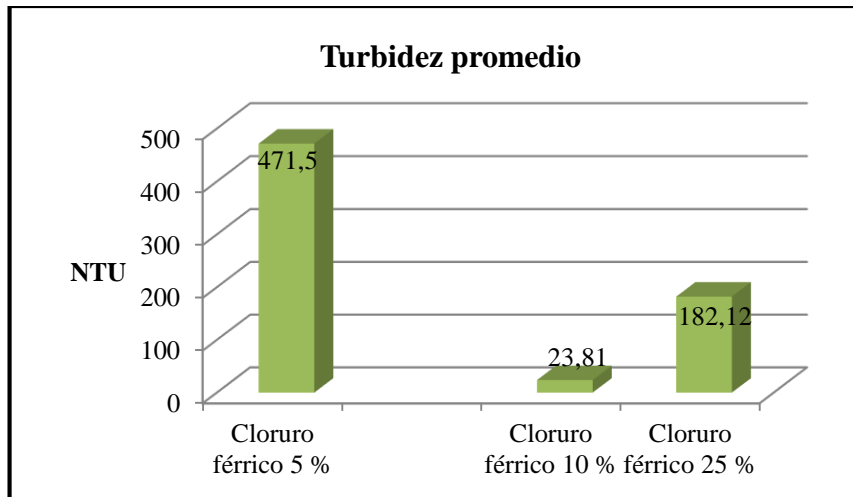


Gráfico 14-3: Variación de turbidez a diferentes concentraciones de coagulante
Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El gráfico 14-3 presenta un resumen del valor de turbidez promedio obtenida luego de realizar las pruebas de tratabilidad de coagulación – floculación para el agua residual sin suero utilizando cloruro férrico al 5, 10 y 25 %, obteniendo 23, 81 NTU al aplicar 4, 6, 8 y 10 ml de FeCl_3 al 10 % en 1 litro de agua cruda como el tratamiento más efectivo.

- Dosificación óptima pruebas de tratabilidad

La dosificación óptima para las pruebas de tratabilidad se obtuvo al aplicar 8 ml de FeCl_3 al 10 % para el tratamiento de 1 litro de agua residual cruda que corresponde a una concentración de 800 ppm; esto quiere decir que necesitamos 0,8 gramos de FeCl_3 diluidos en 100 ml de agua destilada para el tratamiento de 1 litro de agua residual lo que nos representaría un gasto de 8,8 ctvs.

3.9.4 Resultados de dimensionamiento de la planta de tratamiento

Los resultados presentados a continuación muestran el dimensionamiento en escala real de cada una de las etapas de tratamiento para el agua residual proveniente de la empresa de lácteos “San Salvador”, para lo cual se determinó el caudal de diseño de 15,74 m³/d considerando el factor de seguridad.

3.9.4.1 Canal

Tabla 40-3: Dimensionamiento del canal

Parámetro	Unidad	Resultado
Altura	m	0,32
Altura efectiva	m	0,019
Ancho	m	0,30
Radio hidráulico	m	0,10

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

En la Tabla 40-3 se muestran los resultados obtenidos del dimensionamiento del canal por donde ingresará el afluente para su posterior tratamiento con 0,32 m para la altura, el ancho 0,30 m y la altura efectiva de 0,019 m.

3.9.4.2 Rejillas

Tabla 41-3: Dimensionamiento de rejillas

Parámetro	Unidad	Resultado
Ancho de la barra	m	0,010
Longitud	m	0,45
Número	Unidad	6
Separación entre barras	m	0,035
Sumatoria de separación entre barras	m	0,24
Ángulo de inclinación	grados	45

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El sistema de rejillas el cual los resultados de dimensionamiento se presentan en la Tabla 41-3, con la finalidad de retener la mayor cantidad de sólidos principalmente residuos de la fabricación de queso y otros materiales presente en el agua residual, así tenemos 6 barras de 0,45 m de largo con una inclinación de 45° para la limpieza manual.

3.9.4.3 Trampa de grasa

Tabla 42-3: Dimensionamiento de la trampa de grasa

Parámetro	Unidad	Resultado
Ancho	m	1,00
Longitud	m	1,80
Profundidad	m	1,00
Tiempo de retención	h	2,73
Volumen	m ³	1,80

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

La trampa de grasa cuyos resultados de dimensionamiento se presentan en la Tabla 42-3, que influye en el parámetro de grasas y aceites reteniendo la mayor cantidad de grasa formando una capa superficial e impidiendo su paso hacia las siguientes etapas lo cual dificultará un mejor tratamiento, siendo la longitud de 1,80 m y el ancho de 1 m y para un tiempo de retención de 2,73 horas.

3.9.4.4 Sedimentador circular

Tabla 43-3: Dimensionamiento del sedimentador

Parámetro	Unidad	Resultado
Área	m ²	7,6
Radio	m	1,5
Diámetro	m	3
Reparto central	m	0,75
Volumen	m ³	25,42
Tiempo de retención	h	38,52
Pendiente del fondo	m/m	0,08
Profundidad del tanque	m	3,6
Altura de reparto	m	0,9

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El sedimentador primario, sus resultados de dimensionamiento se presentan en la Tabla 43-3, que nos ayudará en la retención y sedimentación de partículas que no hayan sido contenidas en las rejillas, sólidos suspendidos y demás partículas flocculentas que puedan generar obstrucciones en el sistema, consideramos el diámetro de 3 m y un profundidad de 3,6 m y un tiempo de retención de 38,52 horas.

3.9.4.5 Aireación

Tabla 44-3: Dimensionamiento de la aireación

Parámetro	Unidad	Resultado
Caudal de aire teórico	m ³ /d	406,12
Caudal de aire real	m ³ /d	5 076,5
Demanda de aire	m ³ /s	0,118
Potencia para el soplante	KW	4,37
Profundidad del tanque	m	4,60
Ancho del tanque	m	2,84
Tiempo de retención	m	37,18
Producción diaria de lodo	kg/d	19,45
Purga del tanque de aireación	m ³ /d	2,45
Caudal de recirculación	m ³ /d	3,94

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

La Tabla 44-3, muestra los resultados del dimensionamiento del sistema de aireación, que nos permitirá mejorar las condiciones de tratabilidad del agua al aumentar la cantidad de oxígeno disuelto influyendo sobre los parámetros de DBO₅, DQO, así tenemos una profundidad del tanque de 4,60 m y el ancho de 2,84 m y un tiempo de retención hidráulica de 37,18 horas.

3.9.4.6 Mezcla

Tabla 45-3: Dimensionamiento de coagulación - floculación

Parámetro	Unidad	Resultado
Volumen de la cámara de agitación	m ³	0,33
Potencia disipada	W	184
Velocidad de rotación	rpm	288
Longitud del tanque	m	0,75
Altura del tanque	m	0,75
Diámetro de la turbina	m	0,25
Ancho de las pantallas	m	0,075

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Los resultados expuestos en la Tabla 45-3 muestran los resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema de coagulación – floculación, realizado como el tratamiento principal para la remoción de mayor cantidad de concentración de contaminantes de carácter orgánico, removiendo eficazmente los parámetros de DBO₅, DQO, turbidez, sólidos totales,

sólidos sedimentables y coliformes fecales, teniendo así la altura y longitud del tanque de la cámara de agitación de 0,75 m.

3.9.4.7 Filtración

Tabla 46-3: Dimensionamiento del filtro

Parámetro	Unidad	Resultado
Tasa de filtración	m/d	330
Número de filtros	unidad	3
Altura del lecho de arena	m	0,50
Altura del lecho de carbón	m	0,50
Altura del lecho de zeolita	m	0,50
Profundidad de la grava	m	0,20
Área del filtro	m ²	0,048 m ²
Ancho	m	2,50

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

La Tabla 46-3 resume los resultados de dimensionamiento para el filtro de medios múltiples, con arena, carbón activado, zeolita y una capa inferior de grava cada una con altura de 0,50 m, 0,50 m, 0,50 m, 0,20 m respectivamente que retendrán cualquier impureza que no haya sido eliminada en las etapas anteriores, así tenemos un ancho y una altura de 2,50 m.

3.9.4.8 Eras de secado

Tabla 47-3: Dimensionamiento de las eras de secado

Parámetro	Unidad	Resultado
Ancho de la era de secado	m	4,5
Área total de las eras de secado	m ²	25,8
Longitud	m	6
Número	unidad	1

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

Los resultados de dimensionamiento de las eras de secado se presentan en la Tabla 47-3, la cual tiene el objetivo de recoger los lodos provenientes de todo el sistema de tratamiento para su posterior estabilización y deshidratación para ser aprovechado como abono para el suelo, así obtuvimos el ancho de 4,5 m y largo 6 m y la profundidad de 1 m teniendo en cuenta la capa de grava de 0,20 m y arena 0,30 m y la altura libre, y por motivos de seguridad es recomendable la construcción de 2 unidades de eras de secado.

3.9.5 Esquema del sistema de tratamiento prototipo

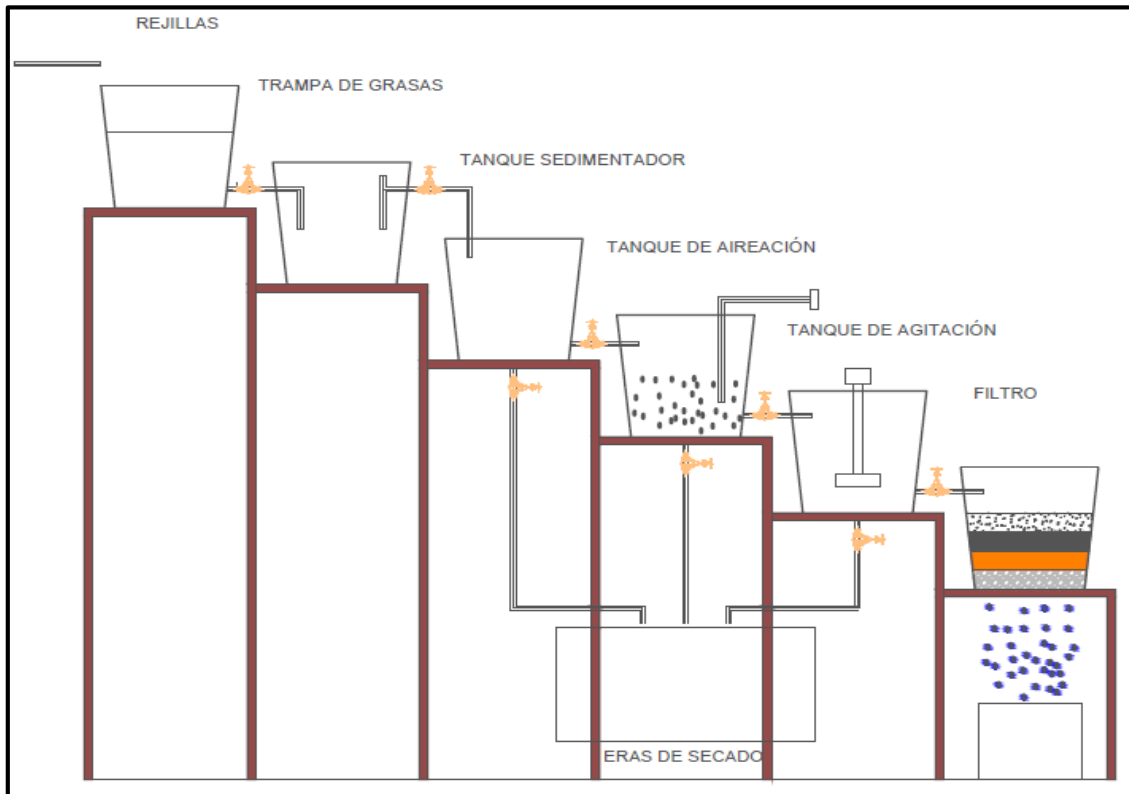


Figura 5-3: Esquema de diseño del sistema de tratamiento prototipo

Realizado por: Albán Nelson, Jara Cristian 2017

El diseño del prototipo propuesto está constituido por las siguientes fases de tratamiento como: trampa de grasa, sedimentador, tanque de aireación, tanque de agitación, filtración, además equipos de aireación y de agitación.

Para el soporte del prototipo se utilizó ángulo de hierro y se lo construyó en forma de gradas, ya que este material posee una alta capacidad de resistencia para el volumen que se va a manejar en cada uno de los tanques durante el funcionamiento del prototipo y por fines económicos ya que este material presenta valores aceptables en el mercado.

Para las etapas de tratamiento se utilizó material de plástico y de acuerdo al propósito de cada fase, se utilizó diferentes geometrías para cada una de ellas, en el tanque almacenamiento, sedimentador, tanque de aireación, tanque de agitación, se optaron por recipientes de plástico circulares, mientras que para la trampa de grasa y filtración se optó por recipientes de plástico rectangulares, cada uno de estos recipientes soportan el caudal que se va a manejar durante la puesta en marcha en el prototipo.

La tubería que se encuentra desde el punto de partida del efluente hasta el resultado final es de material de PVC de ½”, así mismo los accesorios como las válvulas esféricas, codos, neplos, adaptadores son de ½”, materiales utilizados para evitar fugas durante la circulación del efluente.

3.9.6 Resultados del funcionamiento del prototipo

El caudal de entrada al prototipo se lo determinó mediante el método volumétrico mediante el paso del agua residual láctea a través de de la tubería de ½ pulgada de diámetro abierta completamente la llave y tomando el tiempo con la ayuda de un cronómetro, obteniendo un valor de 0,081 l/s.

En el dimensionamiento de las rejillas como resultado se obtuvo un alto de 0,06 m y un diámetro de 0,33 m como se observa en la Tabla 30-3.

La trampa de grasa posee dimensiones de largo 0,46 m, un ancho 0,35 m y un alto de 0,25 m, se determinó un tiempo de retención hidráulico de 2,73 horas con la finalidad de retener en la superficie la mayor cantidad de aceites y grasas que se encuentran en el efluente.

Para la etapa de sedimentación con dimensionamiento de alto 0,31 m y un diámetro de 0,32 m, se proporcionó el agua residual del tanque que pasó por la trampa de grasa, se lleno el recipiente y posterior se lo dejó reposar durante 24 horas para retener la mayor cantidad de material sedimentado en el fondo del recipiente y para evitar obstrucciones en el sistema.

La etapa de aireación con dimensiones de alto 0,31 m y diámetro 0,32 m, con un volumen de 12 litros de agua residual obtenidos en el tanque, para degradar la materia orgánica se inyectó oxígeno durante 24 horas, ya que este procedimiento acelera el crecimiento de las bacterias aerobias y a su vez descomponen la materia orgánica reduciendo mínimamente parámetros como la DBO₅ y DQO; durante 7 días se monitoreó la cantidad de oxígeno disuelto el cual se mantiene en un rango aceptable de 5,4 – 3,5 mg/l ya que se necesita de 2 mg/l de oxígeno mínimo para mantener una oxigenación óptima dentro del tanque de aireación y la temperatura aumento ligeramente de 17,0 a 18,8 °C causado por la actividad microbiológica, los valores obtenidos permitieron que el efluente presente buenas condiciones para la etapa de agitación y a su vez puedan reaccionar fácilmente con los reactivos químicos que se añaden en la siguiente etapa.

El tanque de agitación presenta dimensiones de alto 0,31 m y un diámetro de 0,32 m, una vez estabilizada el agua residual producto de la etapa de aireación, este efluente se sometió al tratamiento químico de coagulación - floculación ya identificada la dosis óptima de reactivo químico para un litro de agua se calculó para los 10 litros de agua residual obtenidos en el tanque de agitación así tenemos 80 ml de FeCl₃ al 10 %, con una agitación de 100 rpm en una mezcla

rápida, posterior se añadió 2 ml de polielectrolito para favorecer la formación y desprendimiento de flóculos hacia el fondo del tanque, además se tomo muestras del efluente tratado para monitorear el estado del efluente que presentó disminución en parámetros como la DBO₅ de 2 860 a 458 mg/l y la DQO de 4 740 a 1 234 mg/l, indicando una eficiencia del 83 % para la DBO₅ y un 74% para la DQO lo que representa el proceso de coagulación – floculación como el tratamiento más efectivo para la remoción del mayor porcentaje de carga contaminante presente en el efluente de la empresa de lácteos “San Salvador”

La fase de filtración con medidas de largo 0,38 m, un ancho 0,25 m y un alto de 0,29 m, el efluente tratado durante la agitación se redujeron los parámetros considerablemente pero estos valores no cumplen con la normativa ambiental, así que el efluente se lo sometió a la fase de filtración con una apertura de paso del caudal del 50 % para evitar el colapso del filtro, una vez que el agua residual atravesó el filtro se tomó una muestra para su análisis obteniendo resultados de DBO₅ 246 mg/l, y DQO 410 mg/l demostrando una reducción de contaminación y presentando una eficiencia de funcionamiento del 90 % de eficiencia, los resultados también arrojaron disminución en los siguientes parámetros con porcentajes de remoción como en la DBO₅ 93 %, DQO 92 %, aceites y grasas 91 %, sólidos totales 80 %, sólidos suspendidos 91 %, turbidez 97 %, coliformes fecales 100 %, mostrando que la planta cumple con los estándares de funcionamiento al cumplir todos los parámetros analizados con los límites permisibles de descarga establecidos en la normativa ambiental.

3.9.7 Resultados de dosificación óptima

Los resultados de dosificación para el prototipo fueron generados a partir de las pruebas de dosificación óptima obtenidas de las pruebas de tratabilidad con 8 ml de FeCl₃ al 10 % para 1 litro de agua residual.

– Prototipo

$$V_{FeCl_3} = \frac{8 \text{ ml } FeCl_3}{1 \text{ l agua residual}} \times \frac{10 \text{ l agua residual}}{1 \text{ día}} = 80 \text{ ml } FeCl_3/\text{día}$$

Se necesitará entonces 80 ml de una solución de FeCl₃ al 10 % para tratar un volumen de 10 litros de agua residual al día, lo que representa preparar 8 gramos de reactivo químico y aforar en 100 ml de agua destilada.

CONCLUSIONES

- A través de la caracterización física, química y microbiológica del efluente proveniente del proceso productivo realizada a la empresa de lácteos “San Salvador” se determinaron que varios parámetros analizados se encuentran fuera de rango de los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público establecidos en el anexo 1 del libro VI del TULSMA, parámetros considerados por el contenido de materia orgánica existentes en el agua residual de origen lácteo tales como DBO₅ 3 320 mg/l, DQO 5 348 mg/l, aceites y grasas 575 mg/l, sólidos totales 4 270 mg/l, sólidos suspendidos 245 mg/l, turbidez 167,1 NTU, coliformes fecales 1 920 mg/l, entre otros.
- En base a los resultados obtenidos una vez realizadas las pruebas de tratabilidad con una eficiencia de tratamiento del 90 %, se definió el sistema de tratamiento del agua residual compuesto por rejillas, trampa de grasa, sedimentación, aireación, coagulación – floculación y finalmente filtración, de esta manera se consiguió reducir la carga contaminante presente en el efluente, se realizaron ensayos de tratabilidad como aireación que disminuyeron parámetros de DBO₅; 2 860 mg/l, DQO; 4 740 mg/l, prueba de jarras reduciendo la DBO₅; 458 mg/l, DQO; 1 234 mg/l, y pruebas de filtración obteniendo valores de DBO₅; 246 mg/l, DQO; 410 mg/l y posteriormente fueron verificados los resultados con la puesta en marcha de la planta de tratamiento prototipo a través de análisis finales del agua tratada.
- Mediante el sistema de tratamiento prototipo propuesto se obtuvo una eficiencia de remoción de carga contaminante: 93,52 % de DBO₅; 92,37 % de DQO; 91,48 % de aceites y grasas; 80,10 % de sólidos totales; 91,02 % de sólidos suspendidos; 97,94 % de turbidez y 100 % de coliformes fecales, cumpliendo de esta manera con la normativa ambiental vigente.
- Se dimensionó el sistema de tratamiento en escala real y para su construcción se redujo a escala prototipo del 10 % para lo cual se estableció un caudal de 20 l/d ya que es un caudal manejable para las procesos de tratamiento, teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio y materiales de construcción, así se tiene 2,40 m de largo por 1,90 m de alto en los cuales se dispusieron las 6 etapas de tratamiento en recipientes plásticos, la estructura se construyó en forma de grada para aprovechar el flujo de agua por gravedad, además es un equipo desmontable y movable para facilitar su traslado, el prototipo fue construido en la Parroquia Rural de Licán del cantón Riobamba con las coordenadas 17 M 755145.00 m Este 9817415.00 m Sur.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una correcta caracterización inicial de las aguas residuales, con el objetivo de conseguir datos precisos de DBO₅, DQO, sólidos totales, sólidos suspendidos, turbidez, valores que son primordiales para el dimensionamiento de una planta de tratamiento.
- Es recomendable investigar y seleccionar el método mas óptimo de depuración dependiendo el tipo de agua residual a tratar, ya que de esta manera se podrá elegir los ensayos de tratabilidad adecuados para obtener resultados que permitan el diseño correcto del sistema de tratamiento.
- Se debe llevar un monitoreo de todos los parámetros de operación a través de análisis físicos, químicos y microbiológicos, que nos permitan evaluar las condiciones de funcionamiento de la planta de tratamiento prototipo.
- En cada fase de tratamiento del agua residual en el prototipo se debe cumplir con los tiempos establecidos ya que esto permite una mayor eficiencia para la reducción de la carga orgánica cuando pasa de una etapa a otra.
- En la etapa de filtración previo al ingreso del agua residual se debe hacer un lavado de los materiales como es la zeolita, el carbón activado, la arena, para una mejor remoción de los contaminantes durante el paso del agua residual en la fase de filtración.
- Sustituir el carbón activado de la etapa de filtración debido al elevado costo económico por medios filtrantes de polímero de plástico, madera de secoya, madera prensada, gravas y arena de río clasificados por su diámetro.

BIBLIOGRAFÍA

ALMIRÓN, Elodia. El agua como elemento vital en el desarrollo del hombre. [en línea] [Consulta: 25 de Julio del 2017]. Disponible en:
http://www.observatoriomercosur.org.uy/libro/el_agua_como_elemento_vital_en_el_desarrollo_del_hombre_17.php

ALTRA. Pruebas de tratabilidad fisicoquímica y biológica. [en línea] 2017. [Consulta: 5 de Noviembre del 2017]. Disponible en:
<http://www.altramedioambiente.com/servicios-profesionales/pruebas-de-tratabilidad-fisicoquimica-y-biologica/>.

ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua coagulación y floculación.* [en línea] Lima Abril de 2000. [Consulta: 25 de Julio del 2017]. Disponible en:
http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae5556209841_d9b8&groupId=10154.

BANÚS, Maria. Agua elixir de vida. *Elementalwatson la revista* [en línea], 2010, (Argentina),1(1), pp. 4-5. [Consulta: 15 de Mayo 2017]. Disponible en:
[http://www.elementalwatson.com.ar/Revista201%20N%201%20\(H2O%20Elixir%20de%20vida\).pdf](http://www.elementalwatson.com.ar/Revista201%20N%201%20(H2O%20Elixir%20de%20vida).pdf)

BARRAGÁN FONSECA, Gabriela Cecilia. *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de las líneas del proceso en la planta de lácteos paraíso del cantón salcedo.* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 34-63.

BEDOYA, Oscar; SANCHES, Luciana. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB, *Scielo*, n° 2 (2009), (Colombia) pp. 24-30.

CARBAJAL AZCONA, Ángeles. Ucm. *Universidad complutense de Madrid*. [En línea] 2012, Madrid, [Consulta: 16 de Mayo de 2017.] Disponible en:
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>.

CÁRDENAS, Carmen; et al. Determination of kinetic constants for the design of biological treatment dairy effluent in batch. [en línea], 2014. (Venezuela) Vol. 37. N°1, pp. 17. [Consulta: 14 de Mayo de 2017]. Disponible en:
<http://www.scielo.org.ve/pdf/rtfiuz/v37n1/art03.pdf>

CARPIO GALVAN, Tania. *Instituto de hidrología, metereología y estudios ambientales*. [en línea] *Colombia*, 2007. [Consulta: 23 de Mayo de 2017]. Disponible en:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>.

CENTA. *Manual depuración de aguas residuales urbanas*. [en línea] 2008. [Consulta: 07 de Junio de 2017.] Disponible en:
<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

CEREZO, Jose. Estación depuradora de aguas residuales. [en línea] 15 de Junio de 2011. [Consulta: 4 de Noviembre de 2017]. Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12885/PFC.pdf>.

CLASIFICACIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS. Vertidos del sector lácteo. [en línea] Abril de 2008. [Consulta: 18 de Mayo de 2017.] Disponible en:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48159/componente48157.pdf

CRITES & TCHOBANOGLIOUS. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. 1^{era} ed. Santafé de Bogota : McGraw-Hill, 2000

ESCUELA ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL. Vertidos del sector lácteo. *Escuela organización industrial*. [en línea]. Sevilla Abril de 2008. [Consulta: 18 de Mayo de 2017].
Disponible en:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48159/componente48157.pdf

ECUADOR. MINISTERIO COORDINADOR DE PRODUCCIÓN, EMPLEO Y COMPETITIVIDAD. *Agendas para la transformación productiva territorial Provincia de Chimborazo* [en línea]. Mayo 2011. [Consulta: 2 de Agosto de 2017]. Disponible en:
<http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/06PPP2013-AGENDA.pdf>

ECUADOR. SECRETARIA NACIONAL DE AGUA. Diagnóstico de la estadística del agua en el Ecuador. [en línea] 2012. [Consulta: 17 de Mayo de 2017]. Disponible en:
<http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>

ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Agua. calidad del agua. muestreo. técnicas de muestreo. [en línea] 2013. [Consulta: 6 de Noviembre de 2017].
Disponible en:
<http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2176-1.pdf>.

GARCÍA ESPIGARES, M. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. [en línea] Universidad de Granada, 1985. [Consulta: 17 de Mayo de 2017.] Disponible en:
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf.

GESTIÓN DE AGUAS Y RESIDUOS. Gestión de Aguas y Residuos. *Soluciones para tratamiento de aguas*. [en línea] España 2000. [Consulta: 29 de Mayo de 2017]. Disponible en:
<https://www.gedar.com/>

GOYENOLA, Guillermo. Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos. [en línea] Junio de 2007. [Consulta: 11 de Octubre de 2017]. Disponible en:
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf.

GUAÑA BALAREZO, Edgar Mauricio. *Diseño del sistema de tratamiento del agua residual en la planta de lácteos Lactogal cia. Ltda.* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. pp. 27-101.

GUERRA H, Luis Felipe. *Diseño de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la quesera Isabel ubicada en el sector Langos el Cisne del Cantón Guano Provincia de Chimborazo.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. pp. 7-100

GUTIÉRREZ, Maritza; et al. Modelo matemático en filtro de zeolita. [en línea] Cuba [Consulta: 20 de Julio de 2017]. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/cubapa008.pdf>

KEMMER, Frank y MCCALLION, John. Manual del agua. *Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones.* 2^{da} ed. México: McGRAW-HILL, 1990.

LESIKAR, Bruce y ENCISO, Juan. Sistemás individuales para el tratamiento de aguas negras. [en línea] Texas 2000. [Consulta: 30 de Mayo de 2017]. Disponible en:
https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Gravel-less-Pipe-S.pdf

LÓPEZ, Enneida; et al. Determinación de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV). [en línea]. 7 Noviembre de 2014. [Consulta: 22 de Julio de 2017]. Disponible en:
http://www.academia.edu/9209870/Determinaci%C3%B3n_de_S%C3%B3lidos_Suspendidos_Totales_SST_y_S%C3%B3lidos_Suspendidos_Vol%C3%A1tiles_SSV_en_agua_tratada.

MARTINEZ, Sergio. Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. [en línea] 1999. [Consulta: 25 de Julio de 2017]. Disponible en:
http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1795/Parametros_de_disenos_de_sistemas_ALTO_Azcapotzalco.pdf?sequence=1.

METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertido y reutilización.* 3^{era} ed. Madrid-España: McGRAW - HILL, 1995.

MEYER, Marco. *Elaboración de productos lácteos.* 2^{da} ed. México, D.F. : Trillas, de C.V., Septiembre 2007.

MOLINA, Ericka; et al. Determinación de nitratos y nitritos en agua. *Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar.* [en línea]. México 2003. Scielo, Vol. 47. N° 1 Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014

OBREGÓN, Celina. Protocolo para la determinación de sedimentables. [en línea]. Colombia Febrero de 2016. [Consulta: 29 de Mayo de 2017]. Disponible en:
<http://studylib.es/doc/5224698/gl-pl-10.-protocolo-solidos-disueltos>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Pequeñas economías, reflexiones sobre la agricultura familiar campesina.* [en línea]. 2015. [Consulta: 3 de Agosto de 2017]. Disponible en:
<http://www.fao.org/3/a-i4955s.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. *Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos.* [en línea]. 2006. [Consulta: 24 de Octubre de 2017]. Disponible en:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001432/143272s.pdf>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD/CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. *Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa.* [en línea]. 2003. [Consulta: 22 de Julio de 2017]. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etTrampa_grasa.pdf.

PAGUAY MACAS, José Luis. *Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la planta de lácteos ESPOCH.* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2013, pp. 47-116

PALOMARES, Antonio. *Esfera del agua.* [en línea] Valencia 2013. [Consulta: 19 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento.c>

PORWAL, Mane y VELHAL G, Biodegradation of organic contaminants from the dairy industry. *ScienceDirect* [en línea], 2015, (Quito-Ecuador), Vol. 9, pp. 1-3. [Consulta: 21 de Mayo de 2017]. ISSN: 1390-6542. Disponible en: <http://www.ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/85/90>

PUTZ, Petra. Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso. [en línea]. Marzo de 2000. [Consulta: 19 de Mayo de 2017]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&uact=8&cfjO.pdf>

RAMALHO, Rubens S. *Tratamiento de Aguas Residuales.* Barcelona-España: REVERTÉ. 1990.

RAS. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sección II Título E *Tratamiento de Aguas Residuales.* [en línea]. Noviembre de 2000. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tituloecolombia.pdf>

ROJAS CHAVES, Paola María. *Diseño de un prototipo de uso doméstico para la remoción de arsénico en agua potable, basado en coagulación/floculación con cloruro de hierro (III).* (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2014. pp. 29-79.

ROLIM MENDOZA, Sérgio. Tratamiento de aguas residuales a través de humedales naturales, artificiales y lagunas de estabilización. [en línea] Bogotá Noviembre de 1999. [Consulta: 25 de Julio de 2017]. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/ar1999/mendoza.pdf>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Purificación del agua.* Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.

RUSSELL, David L. *Tratamiento de aguas residuales. Un enfoque práctico.* Barcelona-España: REVERTÉ, 2012.

SIGLER, Adam y BAUDER, Jim. Educación en el agua de pozo. [en línea]. 2012. [Consulta: 29 de Mayo de 2017]. Disponible en:
http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Corrosivity%20&%20Hardness%202012-11-15-SP.pdf

SUAREZ, María. Medición de caudales (aforos) [en línea] 12 de Abril de 2014. [Consulta: 6 de Noviembre de 2017]. Disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>.

TECNUN. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. [en línea]. Universidad de Navarra, 2015. [Consulta: 16 de Mayo de 2017]. Disponible en:
<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/06Recursos/101MarAral.htm>

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I.* 2015.

TOTOY, Edwin y MORETA, Melinton. *Diseño e implementación de una planta (prototipo) de tratamiento de agua potable tipo paquete para los pozos uno y dos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 22-46

UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO. Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasas. [en línea] 2003: pp.6-8. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etTrampa_grasa.pdf.

VALENCIA, Elizabeth y RAMÍREZ, María. La industria de la leche y la contaminación del agua. [en línea] 2009. [Consulta: 3 de Agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/27.pdf>

ZEOCAT. Soluciones ecológicas con zeolita natural. [en línea]. 2008. [Consulta: 29 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.zeocat.es/spanish/tratamientodeagua.htm>.