



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LAS LÍNEAS DEL PROCESO EN LA PLANTA
DE LÁCTEOS PARAÍSO DEL CANTÓN SALCEDO.”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA

TUTOR: ING. SEGUNDO HUGO CALDERÓN

Riobamba – Ecuador

2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El presente trabajo: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS LÍNEAS DEL PROCESO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS PARAÍSO DEL CANTÓN SALCEDO, de responsabilidad de la señorita Gabriela Cecilia Barragán Fonseca, ha sido revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

Ing. Hugo Calderón

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Mónica Andrade

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DOCUMENTALISTA

SISBIB ESPOCH

“Yo, GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de investigación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se encuentra dedicado a mis padres, quiénes con amor, dedicación, constancia y esfuerzo me han apoyado en el transcurso de mi vida para la conclusión de mi carrera universitaria.

A mis hermanas quiénes con su apoyo y comprensión han contribuido de manera especial en la realización de este trabajo.

De una manera muy especial quiero dedicar este trabajo a mi madre, por ser la amiga y compañera incondicional durante toda mi vida, por ser mi inspiración para convertirme una persona decente y respetable y enseñarme a conseguir mis sueños gracias a esfuerzo y perseverancia.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanas por ser mi inspiración y el apoyo incondicional durante toda mi vida guiando y aconsejándome para enfrentar los diferentes desafíos que se presentan en el camino.

Al Ing. Juan Diego Falconí por brindarme la apertura para la realización de este trabajo de investigación así como su colaboración en el transcurso del mismo.

Al Ing. Hugo Calderón y a la Ing. Mónica Andrade por su enriquecedora contribución para la culminación de este trabajo.

A mis amigos y compañeros quiénes me han apoyado con palabras de aliento para la consecución de este trabajo de investigación y de esta manera alcanzar una de mis metas.

Gabriela

CONTENIDO

RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1. Industria láctea	6
1.1.1 Industria láctea en el Ecuador	6
1.1.2 Industrialización de la leche	7
1.1.2.1 <i>Leche</i>	7
1.1.2.2 <i>Composición de la leche</i>	8
1.1.2.3 <i>Tipos de leche</i>	10
1.1.2.4 <i>Derivados lácteos</i>	11
1.1.3 Aguas residuales de la industria de lácteos	13
1.1.3.1 <i>Composición general de aguas residuales</i>	15
1.1.3.2 <i>Origen de las aguas residuales</i>	16
1.1.3.3 <i>Generación de aguas residuales en el proceso productivo</i>	17
1.1.3.4 <i>Características de las aguas residuales</i>	22
1.1.3.5 <i>Legislación ambiental para descarga de aguas residuales</i>	28
1.1.4 Tratamiento de las aguas residuales en la industria láctea	30
1.1.4.1 <i>Etapas de tratamiento para aguas residuales lácteas</i>	32

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	64
2.1 Parte experimental	64
2.1.1 Localización de la investigación	64
2.1.1.1 <i>Leche pasteurizada</i>	65
2.1.1.2 <i>Queso fresco</i>	66
2.1.1.3 <i>Yogur</i>	66

2.1.2	Metodología.....	67
2.1.2.1	Medición de caudales	67
2.1.2.2	Muestreo	68
2.1.3	Caracterización del agua residual.....	69
2.1.3.1	Métodos	69
2.1.3.2	Técnicas.....	70
2.1.4	Datos experimentales.....	70
2.1.4.1	Caudal volumétrico del agua residual	70
2.1.1.	Caracterización inicial del agua residual	71
2.2.	Pruebas de tratabilidad.....	73
2.2.1.	Relación DQO/DBO ₅	73
2.3.	Dimensionamiento de la planta de tratamiento	74
2.4.	Propuesta.....	75
2.4.1.	Diagrama del sistema de tratamiento de agua residual de Lácteos Paraíso	75

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
3.1.	Cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.....	76
3.1.1	Caudal de diseño.....	76
3.1.2	Dimensionamiento del canal.....	76
3.1.3	Dimensionamiento de rejas de barras.....	78
3.1.4	Dimensionamiento de trampa de grasa simple.....	80
3.1.5	Dimensionamiento del tanque de aireación o reactor.....	81
3.1.6	Dimensionamiento del tanque de sedimentación secundario	86
3.1.7	Dimensionamiento de eras de secado	88
3.2	Resultados.....	90
3.2.1	Resultados de medición del caudal	90
3.2.2	Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento	92
3.2.2.1	Resultados del dimensionamiento del canal.....	92
3.2.2.2	Resultados del dimensionamiento de rejas.....	92
3.2.2.3	Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa	92
3.2.2.4	Resultados del dimensionamiento de lodos activados.....	93
3.2.2.5	Resultados del dimensionamiento para disposición de lodos	94
3.2.3	Resultados de la caracterización del agua residual tratada.....	94

3.3	Porcentaje de remoción después de la degradación biológica (aireación).....	95
3.3.1	<i>Remoción de DQO y DBO.....</i>	96
3.3.2	<i>Remoción de sólidos suspendidos y sólidos totales.....</i>	97
3.3.3	<i>Remoción de aceites y grasas, fósforo total y nitrógeno total.....</i>	97
3.4	Análisis de la propuesta	98
3.5	Presupuesto	99
3.5.1	<i>Inversión</i>	99
	CONCLUSIONES.....	100
	RECOMENDACIONES.....	102
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

μm	Micrómetros.
a	Ancho del tanque de aireación, m.
A	Área de la sección transversal mojada, m^2 .
A_{eb}	Área de espacios entre barras, m^2 .
A_{ES}	Área de eras de secado, m^2 .
A_{Ies}	Área particular de cada era de secado, m^2 .
b	Ancho del canal, m.
b_{ES}	Ancho de era de secado, m.
b_g	Sumatoria de las separaciones entre rejillas, mm.
C	Carga de sólidos suspendidos en el efluente, kg/d.
Ca	Calcio.
$CaCO_3$	Carbonato de calcio.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
cm	Centímetros.
COT	Carbono orgánico total.
DBO_L	Demanda biológica de oxígeno soluble.
DBO_5	Demanda biológica de oxígeno, medida en 5 días transcurridos.
DQO	Demanda química de oxígeno.
e	Separación entre barras, mm.
f	Factor de conversión de DBO_5 en DBO_L (0,45-0,68).
F/M	Relación alimento/microorganismo, d^{-1} .
g	Aceleración de la gravedad, m/s^2 .
h	Altura efectiva, m.
h_a	Profundidad de aplicación, m.
h	Profundidad del canal, m^2 .
h_l	Pérdida de carga, m.
h_s	Borde libre del canal, m.
H_{TA}	Altura del tanque de aireación, m.
K	Coefficiente empírico de pérdidas por turbulencia y formación de sólidos.
K	Potasio.
$K_2Cr_2O_7$	Dicromato de potasio.
k_d	Coefficiente de degradación endógena, d^{-1} .
l/s	Litros por segundo.

l_b	Longitud de barras, mm.
l_{ES}	Longitud de era de secado, m.
m	Metros.
m/s	Metros por segundo.
m^2	Metro cuadrado.
m^3/d	Metros cúbicos por día.
m^3/s	Metros cúbicos por segundo.
Mg	Magnesio.
ml	Mililitros.
mm	Milímetros.
M_{Ld}	Masa de Masa de lodos de desecho, kg/d.
n	Coefficiente de rugosidad de las paredes del canal.
N	NKT del efluente, g/m ³ .
n'	Número de barras.
N_0	NKT del afluente, g/m ³ .
Na	Sodio.
N_{ES}	Número de eras de secado.
NKT	Nitrógeno Total Kjeldahl.
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Unidad nefelométrica de turbidez).
P_{TA}	Profundidad del tanque de aireación, m.
PVC	Polivinilo de cloruro.
P_x	Producción diaria de fango activado, medida en términos de SS volátiles, kg/d.
Q	Caudal de diseño, m ³ /s.
Q_e	Caudal del efluente tratado, m ³ /d.
Q_w	Caudal del fango purgado, m ³ /d.
R_h	Radio hidráulico del canal, m.
S	Concentración de DBO en el efluente, kg/ m ³ .
s	Espesor de las barras, mm.
S'	Pendiente m/m.
S_L	Fracción de sólidos del lodo.
S_o	Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/ m ³ .
SS	Sólidos suspendidos
SSV	Sólidos suspendidos volátiles.
$SSVLM$	Sólidos suspendidos volátiles en licor de mezcla.
ST	Sólidos totales.
TRH	Tiempo de retención hidráulica

Tr_T	Tiempo de retención en la trampa de grasa, m.
$TULSMA$	Texto Unificado de la Legislación Secundaria, Medio Ambiente.
UFC	Unidades formadoras de colonias.
UHT	Ultra High Temperature Processing
v	Velocidad a través de la reja, m/s.
V	Velocidad media del agua en el canal, m/s.
V_{Ld}	Volumen de lodos digeridos diariamente, m ³ /d.
V_{Le}	Volumen de lodos a extraerse, m ³ .
V_T	Volumen efectivo de la trampa de grasa, l.
V_{TA}	Volumen del tanque de aireación, m ³ .
X	Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/ m ³ .
X_e	Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el efluente tratado, kg/ m ³ .
X_w	Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el fango purgado, kg/ m ³ .
Y	Coeficiente de producción celular, kg células producidas/kg materia orgánica eliminada.
Y_{obs}	Producción observada, kg/kg.
θ	Tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación
θ'	Pendiente en relación a la vertical, grados.
θ_c	Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, d.
θ_{ct}	Tiempo medio de retención celular basado en el volumen total del sistema, d.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Estructura de la lactosa.....	9
Figura 2-1	Tipos de quesos según su proceso de elaboración	12
Figura 3-1	Subdivisión de la materia orgánica en las aguas residuales	16
Figura 4-1	Diagrama de elaboración de leche pasteurizada.....	17
Figura 5-1	Diagrama de elaboración del yogur.....	19
Figura 6-1	Diagrama de elaboración de queso.....	20
Figura 7-1	Secciones transversales para canales abiertos	33
Figura 8-1	Sección transversal canal rectangular.....	34
Figura 9-1	Reja de barra de limpieza manual	38
Figura 10-1	Trampa de grasa simple	41
Figura 11-1	Diagrama del proceso de fangos activados	44
Figura 12-1	Clasificación de tanques de sedimentación secundarios para fangos activados.....	55
Figura 13-1	Planta y sección de una era de secado de fango típica	61
Figura 14-2	Mapa provincia de Cotopaxi	64
Figura 15-2	Ubicación de planta de lácteos Paraíso	64
Figura 16-2	Instalaciones planta de lácteos Paraíso.....	65
Figura 17-2	Leche pasteurizada en presentación de 1 litro.....	65
Figura 18-2	Queso fresco en presentación de 500 gramos	66
Figura 19-2	Yogur en sus diversas presentaciones	67
Figura 20-2	Diagrama del sistema de tratamiento	75
Figura 21-3	Canal	78
Figura 22-3	Rejas de barras	79
Figura 23-3	Trampa de grasa	80
Figura 24-3	Tanque de aireación	86
Figura 25-3	Sedimentador secundario	88
Figura 26-3	Eras de secado	90
Figura 27-3	Variación de caudal promedio en una semana	91
Figura 28-3	Remoción de DQO y DBO.....	96
Figura 29-3	Remoción de sólidos suspendidos y sólidos totales	97
Figura 30-3	Remoción aceites y grasas, fósforo total y nitrógeno total.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Composición porcentual de la leche	8
Tabla 2-1	Composición química de la grasa en la leche	8
Tabla 3-1	División de los minerales de la leche.....	10
Tabla 4-1	Tipos de queso según su contenido de grasa	12
Tabla 5-1	Origen de los vertidos de industrias lácteas	16
Tabla 6-1	Operaciones que generan aguas residuales en las industrias lácteas.....	22
Tabla 7-1	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	28
Tabla 8-1	Etapas de tratamiento adecuadas según el punto de descarga de aguas residuales del sector lácteo.....	31
Tabla 9-1	Velocidades del agua medias máximas admisibles para canales abiertos revestidos	33
Tabla 10-1	Borde libre en función al caudal para canales abiertos	34
Tabla 11-1	Previsión de capacidad de conducción de agua en canales revestidos	34
Tabla 12-1	Coefficiente de Manning.....	35
Tabla 13-1	Información típica para el proyecto de rejillas o barras de limpieza manual y mecánica	37
Tabla 14-1	Dimensiones de trampa de grasas de acuerdo al caudal	42
Tabla 15-1	Valores estimados de coeficientes cinéticos de efluente lácteos	46
Tabla 16-1	Parámetro de diseño para los procesos de fangos activados	52
Tabla 17-1	Características de funcionamiento del proceso de fangos activados	54
Tabla 18-1	Información típica de diseño para sedimentadores secundarios	56
Tabla 19-1	Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios circulares	57
Tabla 20-1	Características de lodo o fango activado	60
Tabla 21-1	Datos típicos sobre las características físicas y las cantidades de fango producido ..	60
Tabla 22-1	Criterios de diseño para eras de secado	61
Tabla 23-2	Presentaciones de la elaboración de queso	66
Tabla 24-2	Presentaciones de la elaboración de yogur	66
Tabla 25-2	Métodos utilizados en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia de Tecnológica Ambiental CESTTA.....	69
Tabla 26-2	Valores de caudal del agua residual.....	71
Tabla 27-2	Resultados de la caracterización del agua residual	72
Tabla 28-3	Resultados de caudal promedio diario	91
Tabla 29-3	Resultados del dimensionamiento del canal	92
Tabla 30-3	Resultados del dimensionamiento de rejillas	92

Tabla 31-3	Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa.....	92
Tabla 32-3	Resultados del tanque de aireación	93
Tabla 33-3	Resultados de los equipos de aireación.....	93
Tabla 34-3	Resultados del tanque de sedimentación secundario circular	93
Tabla 35-3	Resultados de eras de secado	94
Tabla 36-3	Resultados del agua residual tratada.....	94
Tabla 37-3	Comparación de parámetros del agua residual inicial y agua residual tratada	95
Tabla 38-3	Remoción de carga contaminante en la degradación biológica	96
Tabla 39-3	Presupuesto para la planta de tratamiento de agua residual.....	99

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Vista exterior de la planta de lácteos Paraíso.
- Anexo B.** Depósito de recolección de las aguas residuales de las líneas de producción.
- Anexo C.** Instalaciones para la elaboración de leche pasteurizada.
- Anexo D.** Instalaciones para la elaboración de yogur.
- Anexo E.** Instalaciones para la elaboración de queso fresco.
- Anexo F.** Pruebas para tratabilidad del agua residual.
- Anexo G.** Caracterización inicial del agua residual de la planta de lácteos Paraíso.
- Anexo H.** Caracterización final del agua residual tratada.
- Anexo I.** Planta de tratamiento de agua residual para Lácteos Paraíso.
- Anexo J.** Canal
- Anexo K.** Trampa de grasa.
- Anexo L.** Tanque de aireación.
- Anexo M.** Tanque de sedimentación secundario.
- Anexo N.** Disposición de lodos - Eras de secado
- Anexo O.** Procedimientos de limpieza

RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de planta de lácteos Paraíso del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi; con el objetivo de cumplir con la normativa ambiental de descarga de efluentes que es exigida a las industrias del país. Debido a que la composición de los efluente es variable durante el día se procedió a utilizar una muestra compuesta comprendida por pequeñas muestras individuales recogidas durante 10 horas; la caracterización de las muestras permitió identificar a los siguientes parámetros que se encuentran fuera del rango permisible en la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1: Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, Aceites y grasas, Fósforo total, Nitrógeno total, Sólidos suspendidos y Sólidos totales. Se efectuó pruebas de tratabilidad para un efluente con alta carga de materia orgánica biodegradable mediante un sistema biológico, aquel que promueve la descomposición de dicho material orgánico. Por último, se dimensionaron los equipos respectivos para el sistema de tratamiento de acuerdo a los resultados obtenidos de la degradación biológica del efluente teniéndose: Canal, Rejas, Trampa de grasa, Tanque de aireación y Sedimentador secundario. El caudal medido por 7 días consecutivos mediante el método volumétrico identificándose como caudal promedio: 1,93 m³/h. La validación se evidencia mediante la caracterización del agua residual obtenida después del ensayo de tratabilidad, así los porcentajes de remoción de los parámetros son: Demanda química de oxígeno 96,7%, Demanda bioquímica de oxígeno 96,9%, Aceites y grasa 94,3%, Fósforo total 93,5%, Nitrógeno total 90,5 %, Sólidos suspendidos 94,0% y Sólidos totales 59,6%. Lácteos Paraíso con este sistema de tratamiento propuesto cumplirá con la legislación ambiental para descarga al alcantarillado público. Se recomienda limpieza periódica de equipos y colocación de los lodos formados en eras de secado para su disposición final.

Palabras claves: <PLANTA DE LÁCTEOS> <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO AMBIENTE [TULSMA]> <AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL> <DEGRADACIÓN BIOLÓGICA> <REJAS> <TRAMPA DE GRASA> <TANQUE DE AIREACIÓN> <SEDIMENTADOR SECUNDARIO>

SUMMARY

A waste water treatment system from Paraíso dairy processing plant was designed at Salcedo Canton un Cotopaxi province, in order to comply with environmental regulations of effluent varies during the day, then was used a composite sample of small individual samples which were collected over 10 hours, by the characterization of the samples it identified the following parameters which are outside the allowable range in the Environmental Quality Standard effluent discharge: Water, Book VI, Annex I: chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, oil and grease, total phosphorus, total nitrogen, suspended and total solids. Treatability test were carried out for a high load effluent with biodegradable organic matter by a biological system, which promotes the decomposition of the organic material. Finally the respective equipment to the treatment system was sized according to the results of biological degradation from the effluent taking: channel bars, grease trap, aeration tank and secondary sedimentation tank. The flow measured by 7 consecutive days by the volumetric method was identified as a flow average of 1,93 m³/h. the validation was proof by characterization or wastewater collected after the treatability test and removal percentages or the parameters are: chemical oxygen demand 96,7%, biochemical oxygen demand 96,9%, oil and grease 94,3%, total phosphorus 93,5%, total nitrogen 90,5%, suspended solids 94,0% and total solids 59,6%. Paraíso dairy with this proposed treatment system will comply with environmental law to discharge the wastewater in the public sewer. It is recommended regular cleaning of equipment and place sludge drying.

Key words: <DAIRY PLANT> <UNIFIED TEXT OR SECONDARY LAW OF THE ENVIRONMENT MINISTRY (TULSMA)> <INDUSTRIAL WASTEWATER> <BIOLOGICAL DEGRADATION> <BARS> <GREASE TRAP> <AERATION TANK> <SECONDARY SEDIMENTATION TANK>

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la preocupación por el cuidado del medio ambiente se ha incrementado por la creciente contaminación de los recursos naturales, aquellos que son indispensables para el desarrollo de los procesos biológicos en el planeta. La industrialización de la leche ha permitido a la humanidad el consumo de un alimento de gran valor nutricional como es la leche, puesto que constituye una buena fuente de calcio, así como de vitaminas, proteínas y otros minerales. Así mismo las descargas líquidas de esta industria poseen un nivel gran de contaminación puesto que arrastra en su mayoría componentes de la leche y algunas otras sustancias.

Es por esta razón que la legislación ambiental ha evolucionado de manera gradual controlando la descarga de vertidos industriales, para conseguir efluentes menos contaminantes se recurre al tratamiento de las aguas residuales, puesto que dicho tratamiento aplica varios tipos de procesos que ayudan a la reducción de la contaminación por consiguiente a mejorar la calidad del vertido y de la vida en el planeta.

El análisis de las aguas industriales provenientes de las líneas del proceso productivo en la planta de lácteos PARAÍSO ubicada en el cantón Salcedo, ha demostrado la gran cantidad de materia orgánica biodegradable que presenta el efluente por la presencia de suero y lactosa, subproductos comunes del proceso de fabricación de derivados lácteos.

La degradabilidad del efluente permite la utilización del proceso biológico de lodos o fangos activados para reducir su carga contaminante y de esta forma se obtendrá agua tratada que cumpla los límites estipulados en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla 11 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, perteneciente al Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente.

ANTECEDENTES

En la región sierra del Ecuador, al centro-norte del país se localiza la provincia de Cotopaxi, la cual está conformada políticamente por siete cantones. Uno de ellos es el cantón Salcedo, cuya cabecera cantonal es la ciudad de Salcedo, en donde se sitúa la planta de lácteos Paraíso.

La planta de lácteos Paraíso empieza sus actividades como una microempresa procesadora de bebidas y refrescos tales como leche y jugos. En el año 2002 debido al incremento de la producción y a las nuevas necesidades del mercado incursiona en la elaboración de derivados lácteos como queso, yogur, manjar de leche y crema. En la actualidad la capacidad de producción de la planta es de 25000 litros de leche por día, de los cuales el 50% se destina para la producción de quesos, el 30% para leche de consumo y el 20% para yogur.

Actualmente la planta de lácteos posee la obligación de cumplir con las estipulaciones ambientales establecidas, en cuanto a la descarga adecuada de vertidos producidos por actividades industriales. Las industrias lácteas utilizan una elevada cantidad de agua para sus operaciones y generan aguas residuales con carga contaminante de naturaleza orgánica, es así que la normativa expone la necesidad de un tratamiento de dichas aguas residuales antes de su descarga.

El tratamiento de efluentes representa uno de los eslabones significativos para la prevención y control de la contaminación ambiental de un recurso tan indispensable para la vida como es el agua. La descarga de agua residual de origen industrial hacia el sistema de alcantarillado y/o hacia los cuerpos naturales de agua se encuentra regulada por el Ministerio del Ambiente apoyada en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo I del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente perteneciente al acuerdo ministerial publicado el 18 de junio del 2013. La planta de lácteos Paraíso descarga sus efluentes hacia la red de alcantarillado municipal del cantón del Salcedo, por lo que debe cumplir con los requisitos indicados en la norma antes mencionada.

La realización del sistema de tratamiento de aguas residuales emprende con el diseño de una planta para dicho tratamiento, mediante la caracterización físico-química y biológica del agua procedente del proceso productivo.

El propósito del tratamiento es la descarga de los vertidos al sistema de alcantarillado público en concordancia con las normas y parámetros establecidos para salvaguardar la calidad del agua y cumplir con las obligaciones ambientales pertinentes a la industria láctea.

JUSTIFICACIÓN

En el transcurso del tiempo, el hombre ha utilizado el agua en todas sus actividades cotidianas, incluyendo también las actividades realizadas en la industria, es por esta razón que el sector industrial se ha convertido en uno de los actores principales para contribuir a la disminución del impacto ambiental mediante la preservación y protección de los cuerpos hídricos. Dentro del sector industrial se encuentra la producción de lácteos, por consiguiente la industria láctea tiene el deber de contribuir con la conservación del agua mediante la reducción de la carga contaminante de sus vertidos.

El sistema de tratamiento de las aguas residuales para una planta de lácteos representa entonces el medio para aminorar la contaminación causada por la producción de leche pasteurizada y sus derivados lácteos, lo que conlleva a que la descarga de efluentes sea responsable con el ambiente. Además un sistema de tratamiento de aguas residuales le permitirá a la industria cumplir con los requisitos estipulados en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua, Libro VI Anexo 1 del TULSMA.

La planta de lácteos Paraíso no posee un sistema de tratamiento actual para los vertidos procedentes de la ejecución de sus actividades productivas, es por esta razón que en virtud de cumplir con la normativa vigente para la descarga de efluentes de origen industrial se justifica la creación de una planta de tratamiento para sus aguas residuales.

Las empresas que procesan leche producen una gran cantidad de aguas residuales, generalmente se usa de 1 a 2 litros de agua por litro de leche procesada. La mayor cantidad de dichas aguas

procede principalmente de la limpieza de aparatos, equipos y salas de tratamiento, por lo que poseen en su constitución varios restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos, detergentes, desinfectantes, etc.), sin embargo también se descargan aguas de refrigeración que al no ser recuperadas adecuadamente, logran ser hasta 2 o 3 veces la cantidad de leche procesada. La naturaleza de sus vertidos es orgánica y constituyen una fuente de contaminantes que afecta el aspecto del agua así como pueden interferir en la flora y fauna acuáticas.

Las aguas residuales provenientes del proceso de una planta de lácteos generalmente contienen suero lácteo que es un subproducto obtenido durante el proceso de fabricación del queso, este posee un valor altamente nutritivo, pues es una fuente de proteínas, minerales y vitaminas. La presencia del suero altera los parámetros normales que debe poseer el agua al ser descargada al sistema de alcantarillado. Por lo tanto, la planta de lácteos Paraíso requiere de forma indispensable un sistema de tratamiento de aguas residuales, las cuales proceden de sus líneas de producción para así cumplir con las estipulaciones dispuestas por la autoridad ambiental. Cabe recalcar que según norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin previo tratamiento, reforzando así el criterio antes mencionado.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes del proceso de la planta de lácteos Paraíso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales en concordancia a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla 11- Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, del TULSMA.

- Establecer el diseño del sistema de tratamiento más apropiado para las aguas residuales procedentes del proceso de la planta de lácteos, de acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización de las mismas.
- Identificar las variables de proceso adecuadas para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Validar el diseño establecido considerando la caracterización final del agua descargada del sistema de tratamiento, de acuerdo a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla 11-Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, del TULSMA.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Industria láctea

La industria láctea en el país ha alcanzado un avance de gran importancia. Su materia prima, la leche, se maneja minuciosamente desde la producción del ganado hasta la elaboración de un producto de calidad. Los subproductos generados de esta industria conforman desde los productos fermentados, como el yogurt, el queso, hasta aquellos no fermentados como mantequilla y helados, etc. (Revista El Agro, 2013, <http://www.revistaelagro.com/2013/04/25/industria-lactea-importante-eslabon-en-la-produccion-pecuaria/>)

La industrialización de la leche ha permitido a la humanidad el consumo de un alimento de gran valor nutricional como es la leche, puesto que constituye una buena fuente de calcio, así como de vitaminas, proteínas y otros minerales. Además su procesamiento promete la prolongación de vida de dicho producto y la obtención de amplia gama de productos derivados.

1.1.1 Industria láctea en el Ecuador

En el inicio del año 1900 en el Ecuador se desarrolló el consumo de leche líquida en las ciudades y su pasteurización se realiza a partir de 1938 en la ciudad de Quito. La industria de lácteos ecuatoriana constituye un importante eslabón en la cadena productiva de la leche y un motor para la dinamización del comercio. Además la industria láctea se establece como una fuente generadora de empleos de forma directa e indirecta, para una parte representativa de familias ecuatorianas. (CIL Ecuador, 2012, http://www.cilecuador.org/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=3)

La contribución regional a la producción de leche en el Ecuador, de acuerdo a los datos del III Censo Agropecuario, el 72,8% pertenece a la región Sierra, seguido del 18,4% de la región Costa, el 8,2% de la región Amazónica y el porcentaje restante pertenece a la región Insular y

las zonas en conflicto. Estos datos manifiestan que la producción lechera en el Ecuador se ha concentrado en la región interandina.

1.1.2 Industrialización de la leche

La industria láctea ha establecido una serie de procedimientos tecnológicos dedicados a la producción de leche pasteurizada, queso, yogur, manjar y otros derivados lácteos; destinados al consumo humano para mantener su buena calidad de vida.

1.1.2.1 Leche

“Se entiende como leche al producto integral del ordeño total e ininterrumpido, en condiciones de higiene que da la vaca lechera en buen estado de salud y alimentación.” (Rodríguez, S. 2010, <http://blog.educastur.es/tecnologiasvegadeo/files/2010/12/la-leche.pdf>).

La leche es considerada como el producto higiénicamente obtenido de la secreción de la glándula mamaria de la hembra sana de los mamíferos, destinada a la alimentación de la cría. Ese producto debe estar libre de contaminantes o calostros y cumplir con algunas características físicas, químicas y microbiológicas establecidas.

La leche constituye una base de numerosos productos lácteos, como la mantequilla, el queso, el yogur y el manjar de leche, entre otros. Es un alimento de gran valor por tener como principal función nutrir a las crías de los mamíferos hasta que sean capaces de digerir otros alimentos.

La leche es sometida a tratamientos generales que tienen por objeto destruir los microorganismos patógenos y adecuar su composición para el consumo directo y/o la elaboración de otros productos lácteos.

1.1.2.2 Composición de la leche

La calidad de la leche se define por sus aspectos químicos, microbiológicos y organolépticos (color, sabor, olor, aspecto), así como por su valor nutritivo. La leche es un producto nutritivo complejo que posee una gran variedad de sustancias que se encuentran en solución, suspensión o emulsión en agua.

Tabla 1-1 Composición porcentual de la leche

Constituyente	Variación	Promedio
Agua	70,00-90,50	87,00
Grasa	2,20-8,00	3,80
Proteínas	2,70-4,80	3,50
Lactosa	3,50-6,00	4,90
Ceniza	0,65-0,90	0,80

Fuente: (Revilla, 1982)

1.1.2.2.1 Agua

La leche está conformada en su mayor parte de agua. El agua sirve como disolvente o de suspensión para los diferentes constituyentes solubles de la misma.

1.1.2.2.2 Grasas

En la leche la grasa se encuentran en forma de emulsión; esto es una suspensión de pequeños glóbulos líquidos que no se mezclan con el agua. Su contenido varía dependiendo en la raza de la vaca y su nivel de nutrición. La grasa proporciona a la leche un color amarillo característico.

Tabla 2-1 Composición química de la grasa en la leche

Detalle	Porcentaje (%)
Triglicéridos o ésteres de ácidos con glicerol	98,0
Fosfolípidos	0,5-1,0
Otras sustancias	1,0

Fuente: (Revilla, 1982)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.2.2.3 Proteínas

Las proteínas se clasifican en dos grandes grupos: caseínas en un 80% y proteínas séricas, en un 20%, tales como globulina y albúmina. La principal proteína de la leche es la caseína, son partículas sólidas muy pequeñas (micelas) que no se sedimentan y permanecen en suspensión. Cabe mencionar que la globulina y la albúmina son arrastradas por el suero durante el procesamiento del queso.

1.1.2.2.4 Hidratos de Carbono

El principal hidrato de carbono en la leche es la lactosa su porcentaje varía de 3,6% a 5,5% y es la responsable del sabor dulce, además forma el 52% de los sólidos no grasos en la leche y aporta un gran contenido energético.

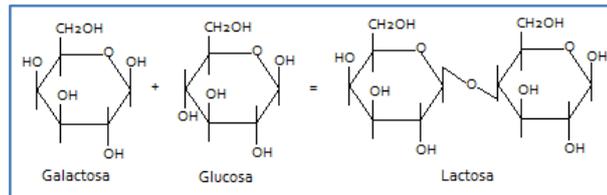


Figura 1-1 Estructura de la lácteos

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.2.2.5 Vitaminas

La leche prácticamente contiene todas las vitaminas necesarias para el desarrollo del organismo humano, en la grasa de la leche se encuentran disueltas las vitaminas A, D, E, K; conocidas como vitaminas liposolubles. Además existen las vitaminas del complejo B y C que son aquellas solubles en el agua de la leche.

1.1.2.2.6 Minerales

La leche posee varios minerales en su composición por lo tanto es una fuente excelente para la mayoría de los minerales requeridos para el crecimiento. La digestibilidad del calcio y fósforo es generalmente alta, en parte debido a que se encuentran en asociación con la caseína de la leche. Los minerales en la leche al someterlos a 550°C se convierten en cenizas, por esto también se les denomina cenizas. Los minerales se dividen en macroelementos y microelementos:

Tabla 3-1 División de los minerales de la leche

Macroelementos	Microelementos	
Calcio	Hierro	Boro
Fósforo	Cobre	Plomo
Magnesio	Aluminio	Arsénico
Potasio	Zinc	Cromo
Cloro	Manganeso	Selenio
Azufre	Cobalto	Molibdeno
Citratos	Yodo	Flúor
Carbonatos y silicatos	Níquel	Bromo

Fuente: (Revilla, 1982)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.2.3 Tipos de leche

1.1.2.3.1 Leche cruda

“La leche cruda es aquella que proviene de las vacas, ovejas o cabras y que no ha pasado por el proceso de pasteurización para matar las bacterias dañinas. Puede contener bacterias peligrosas como Salmonella, Escherichia coli y Listeria, que son las responsables de causar numerosas enfermedades transmitidas por los alimentos.” (FDA, 2015, <http://www.fda.gov/Food/ResourcesForYou/Consumers/ucm210577.htm>)

1.1.2.3.2 Leche pasteurizada

La leche pasteurizada es un producto de consumo humano obtenido básicamente por la aplicación de un tratamiento térmico para reducir los agentes microbianos patógenos que puede poseer la leche cruda y posteriormente se envasa para su comercialización. Además la pasteurización contribuye a incrementar la capacidad de conservación de la leche.

1.1.2.3.3 Leche entera

La leche entera es uno de los alimentos más completos porque contiene proteínas, minerales (calcio), carbohidratos (lactosa) y lípidos, dichas sustancias son aquellas que poseen un importante aporte nutritivo.

1.1.2.3.4 Leche descremada

La leche descremada es aquella que posee un porcentaje reducido en cuanto a su contenido de grasas, conserva los valores nutritivos de la leche entera pero aporta un contenido graso mucho menor. El sabor es ligeramente insípido y la consistencia es ligera.

1.1.2.3.5 Leche condensada

Es aquella leche que contiene alto contenido de grasa y bajo contenido de agua. Se obtiene a partir de leche entera a la que se le adiciona sacarosa y glucosa. La concentración deseada se logra en un sistema al vacío con temperaturas no muy altas para conseguir la evaporación de agua quedando como resultado un producto viscoso.

1.1.2.4 Derivados lácteos

Los derivados lácteos son aquellos alimentos que se elaboran a partir de la leche: yogur, quesos, manjar, mantequilla, crema de leche, entre otros.

1.1.2.4.1 Queso

Es el producto lácteo que se consigue por la separación del suero. El queso se obtiene a partir de la coagulación de la leche y deshidratación de la cuajada; se puede conservar por varios días. El queso es rico en proteínas, grasas, sales minerales y vitaminas; en niños y adultos favorece el crecimiento y fortalecimiento de huesos y dientes.

Los quesos se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios, a continuación se muestra la clasificación de los quesos según su proceso de elaboración:

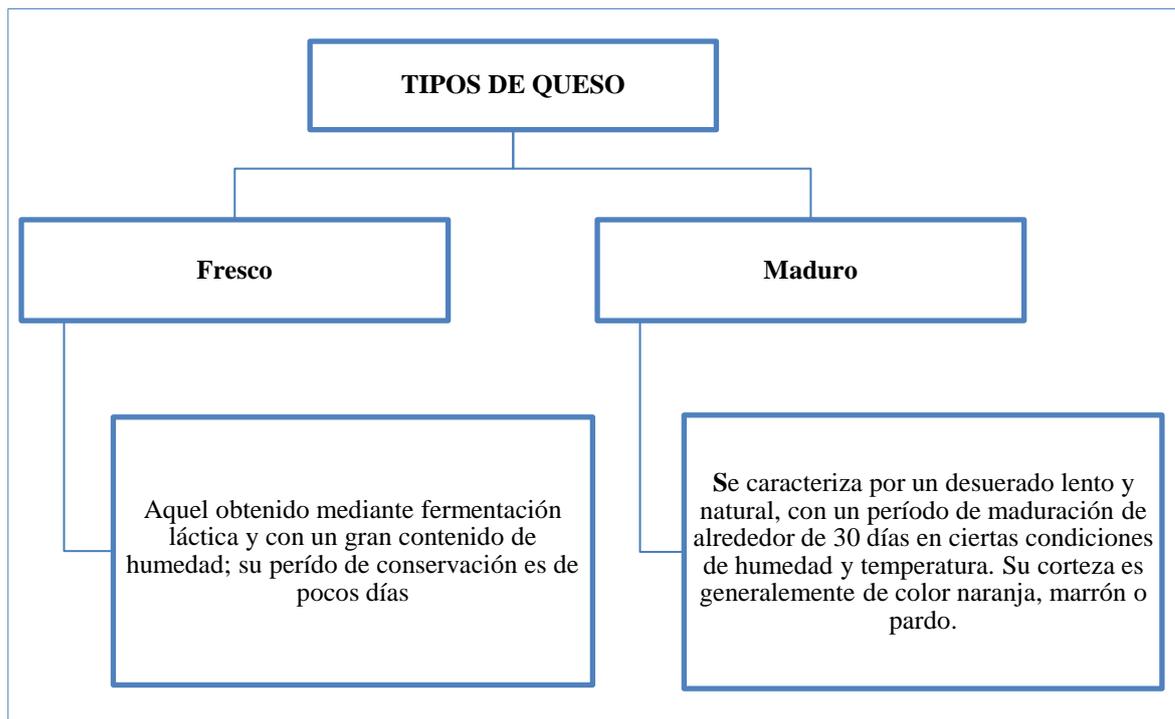


Figura 2-1 Tipos de quesos según su proceso de elaboración

Fuente: (Mundoquesos, 2015)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Los quesos según su contenido de materia grasa se dividen en:

Tabla 4-1 Tipos de queso según su contenido de grasa

Denominación	Porcentaje de grasa (%)
Extra graso	>60
Graso	45-60
Semi-graso	25-45
Bajo contenido de grasa	10-25
Desnatado	<10

Fuente: (Mundoquesos, 2015)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.2.4.2 Yogur

El yogur es un producto lácteo fermentado, levemente ácido, de cultivo semisólido que es producido por homogenización y pasteurización. La fermentación de la lactosa, contenida en la leche, en ácido láctico es la responsable de la textura y el sabor diferenciado del mismo. El yogurt, es un producto efectivo para restaurar y mantener el funcionamiento normal de nuestro equilibrio intestinal, rico en las vitaminas del complejo B.

➤ *Cultivos de yogur*

Los microorganismos responsables de la fermentación láctica pueden ser de muchos tipos siendo los principales el *Streptococcus thermophilus* y el *Lactobacillus bulgaricus*, estos se encuentran en la mayoría de los cultivos lácticos. Además existen otros microorganismos conocidos como heterofermentativos que también interviene en dicha fermentación.

1.1.2.4.3 Manjar o dulce de leche

El manjar o dulce de leche corresponde a una variante caramelizada de la leche. Es un producto lácteo obtenido por concentración de la leche mediante la acción del calor a presión normal, con la adición de azúcares y otros ingredientes o aditivos permitidos. El producto resultante tiene una consistencia pastosa, más o menos untable y de color caramelo.

1.1.2.4.4 Mantequilla

La mantequilla es un derivado lácteo que tiene importancia como alimento por la grasa que contiene. Es una emulsión de grasa y agua que se obtiene gracias al batido intenso de la nata (en la nata se hallan los glóbulos microscópicos de mantequilla, esos glóbulos están rodeados de unas membranas de ácidos grasos y proteínas, con el batido, esas membranas se rompen, los ácidos grasos quedan libres y ejercen de agente emulsionante, además que los elementos grasos se unen formando una masa única).

1.1.3 Aguas residuales de la industria de lácteos

De acuerdo a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, se conoce como agua residual a aquella agua de composición variable que ha sufrido degradación de su calidad inicial y que procede de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos. (TULSMA, 2015)

El agua residual también se define como aquella procedente de la utilización del agua natural o de la red; a la eliminación de esta agua residual se le conoce como vertido. Las aguas residuales contienen varios patógenos según los estudios que se realizaron para la teoría del germen por Koch y Pasteur, además de otras muchas sustancias contaminantes.

Una central lechera puede producir un vertido de 1,5 a 2,5 litros por cada litro de leche procesada ampliándose a un rango de 2 a 5 litros al incluir todas las actividades de las instalaciones de la planta.

Los vertidos industriales de las plantas que procesan leche y derivados, provienen principalmente de las operaciones de:

- Limpieza de equipos y superficies.
- Aguas de refrigeración (en el caso de no ser recuperadas).
- Condensados.
- Restos de leche y lactosuero.

La comprensión de la naturaleza de las aguas residuales de una industria láctea es primordial para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales. Durante el análisis de DQO se ha considerado que alrededor de un 90% del mismo en aguas residuales de industrias lácteas proviene de los componentes de la leche y tan sólo un 10% de otras sustancias extrañas.

La carga contaminante esperada comprende materia orgánica, sólidos en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno orgánico y detergentes. Los contaminantes esperados en el vertido de las aguas de refrigeración y purgas de calderas (sin tomar en cuenta cuando el agua entra en contacto directo con equipos y piezas), son sólidos en suspensión y conductividades elevadas.

Según lo expuesto anteriormente, la industria láctea produce cantidades significativas de efluentes líquidos por lo tanto constituyen su principal fuente de contaminación. Las descargas líquidas generadas en este tipo de industria debido a la presencia del azúcar de la leche (lactosa), se caracterizan por un contenido moderado de DBO₅.

La presencia de fósforo y nitrógeno, nutrientes para la población microbiana, obliga a evaluar los lodos generados por las plantas de tratamiento. Estos lodos son sometidos primero a un tratamiento físico químico y biológico y a un tratamiento de digestión posterior, aeróbico o anaeróbico, lo que conllevaría a una rebaja drástica en su cantidad.

1.1.3.1 Composición general de aguas residuales

A continuación se exponen las características generales de aguas residuales de proceso provenientes de la industria láctea.

- Indicador de contaminación orgánica (elevado DBO₅ y DQO), por la presencia de componentes de la leche, que puede dar valores extremos de estos parámetros.
- Biodegradabilidad elevada.
- Presencia de aceites y grasas.
- Concentraciones elevadas de nitratos y fósforo, provenientes de las sustancias de limpieza y desinfección.
- Presencia de sólidos en suspensión, esencialmente en la elaboración de quesos.
- Alta conductividad debida primordialmente en la elaboración de queso debido al vertido de cloruro de sodio proveniente del salado del queso.
- Valores extremos de pH debido a la limpieza con soluciones de ácidos y bases.

La valoración de los parámetros de DQO y de DBO₅ puede estimarse de 210000 mg/l y de 110000 mg/l respectivamente, en vertidos de naturaleza láctea.

La elaboración de queso produce aguas residuales de alto contenido de lactosuero especialmente de naturaleza salina, lo recomendable en este caso sería el aprovechamiento del mismo. Se estima que el suero generado posee una DBO₅ del orden 40000-50000 mg/l. Además el volumen de lactosuero generado en la elaboración del queso es aproximadamente nueve veces la cantidad de leche tratada. Entendiéndose por lactosuero al subproducto líquido resultante de la precipitación de la caseína durante la fabricación del queso; contiene esencialmente lactosa, proteínas, vitaminas, minerales y grasas. (Parra, 2009, pp. 4967-4977)

Como los vertidos de la industria láctea son efluentes de carácter mayoritariamente orgánico, cabe recalcar que la materia orgánica de las aguas residuales puede dividirse según su biodegradabilidad como se muestra en la Figura 3-1.

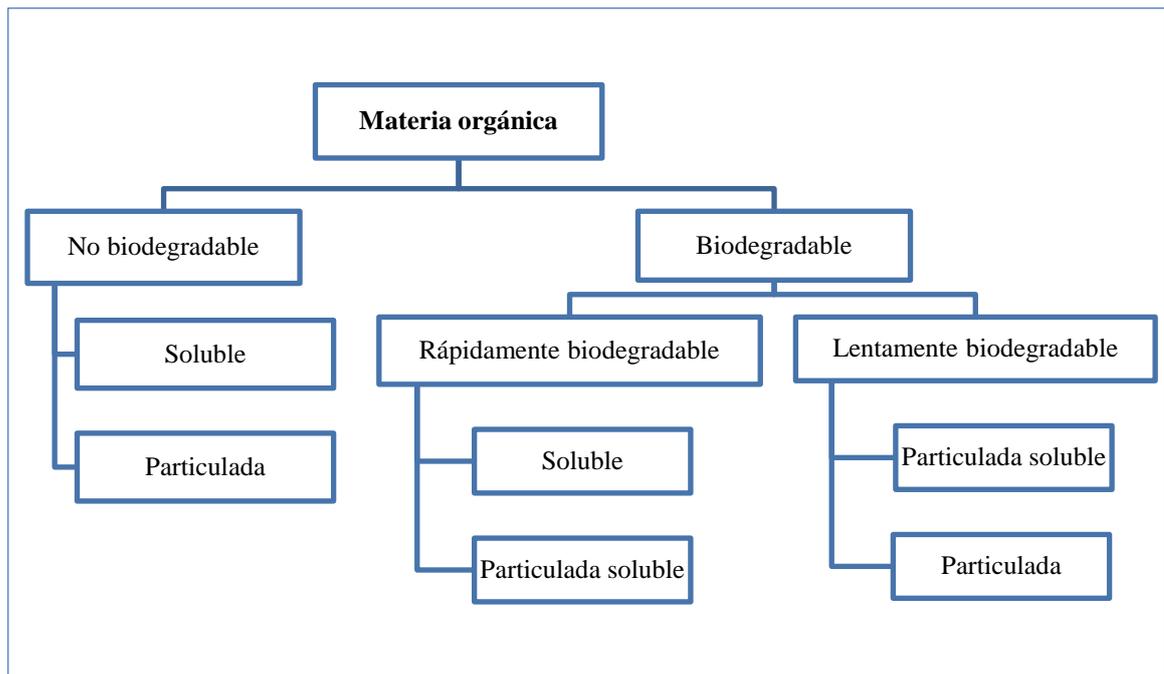


Figura 3-1 Subdivisión de la materia orgánica en las aguas residuales

Fuente: (Osorio, Torres, & Sánchez, 2010)

1.1.3.2 Origen de las aguas residuales

Tabla 5-1 Origen de los vertidos de industrias lácteas

Origen del vertido		Características
Aguas de proceso	Aguas residuales generadas en operaciones de limpieza de equipos e instalaciones y vaciado periódico de disoluciones empleadas en la limpieza de quipos.	DBO ₅ , DQO, sólidos en suspensión, nitrógeno orgánico, detergentes, acidez o basicidad y aceites y grasas
Disoluciones de limpieza	Disoluciones de agua oxigenada, hipoclorito, yodoformo, entre otros agentes de limpieza.	Agua oxigenada, yodoformo, hipoclorito, entre otros.
Agua de refrigeración y calderas	Vertidos procedentes de purgas de calderas y de los circuitos de agua de refrigeración y agua caliente y vapor.	Conductividad, sólidos en suspensión y temperatura

Fuente: (Los vertidos del sector lácteo, 2008)

1.1.3.3 Generación de aguas residuales en el proceso productivo

La carga contaminante de las aguas residuales posee su origen en procesos determinados que se ejecutan en una planta de lácteos, a continuación se describen los procesos generadores de los vertidos contaminantes.

1.1.3.3.1 Proceso de elaboración de la leche pasteurizada

Los vertidos que se producen en la elaboración de leche pasteurizada o esterilizada (UHT) se indican junto a las operaciones que generan dichos efluentes líquidos en el siguiente diagrama:

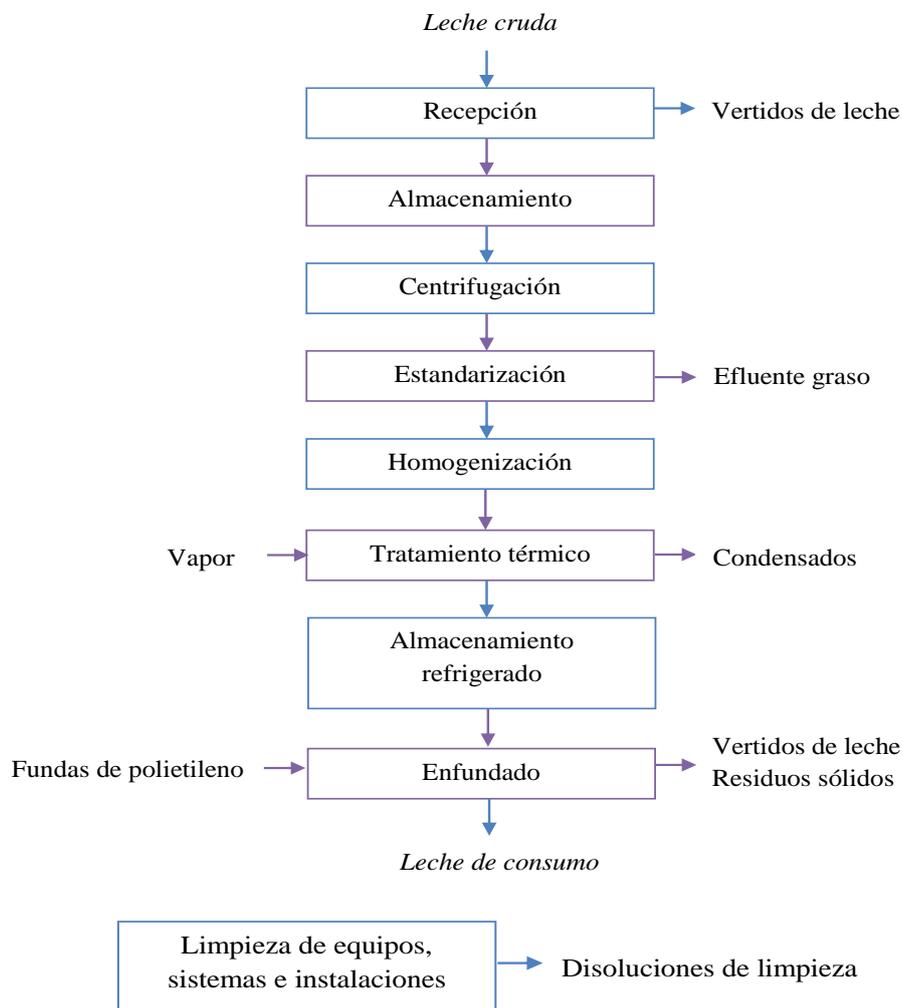


Figura 4-1 Diagrama de elaboración de leche pasteurizada

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.3.3.1.1 Recepción de la leche

La leche se recibe en cisternas, luego se eleva la temperatura de la misma hasta 65°C para la reducción de la población bacteriana. Seguidamente se realiza un enfriamiento a 4°C y se traslada la leche a unos silos de almacenamiento.

La limpieza de las cisternas genera residuos con una gran cantidad de grasa, puesto que el mismo transporte de la leche provoca un descremado parcial de la misma, difícil de volverla a emulsionar. La limpieza de los silos de almacenamiento genera material residual de composición similar.

1.1.3.3.1.2 Estandarización de la leche

La estandarización es el ajuste del contenido graso de la leche, mediante la utilización de descremadoras centrífugas. La nata producida en esta etapa puede usarse en la elaboración de mantequilla o de nata. La producción de efluentes de gran contenido de grasa es propia de este proceso.

1.1.3.3.1.3 Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos más empleados son:

- Pasteurización, es un proceso pero que emplea una temperatura que alcanza los 85°C durante unos 15 segundos para la destrucción de microorganismos patógenos.
- Esterilización, a través del tratamiento UHT, en donde se calienta la leche a elevada temperatura de hasta 145°C durante un tiempo realmente corto que puede ser entre 2 a 5 segundos.

En los tratamientos térmicos generalmente se produce una adhesión de depósitos de proteínas a las superficies de intercambiadores de calor, que luego van a ser arrastrados por la limpieza con soluciones químicas.

1.1.3.3.2 Proceso de elaboración del yogur

Los efluentes líquidos producidos en la elaboración de yogur también se indican a continuación, cabe mencionar que si la producción es automática los vertidos solamente se generarán en la limpieza de la maquinaria.

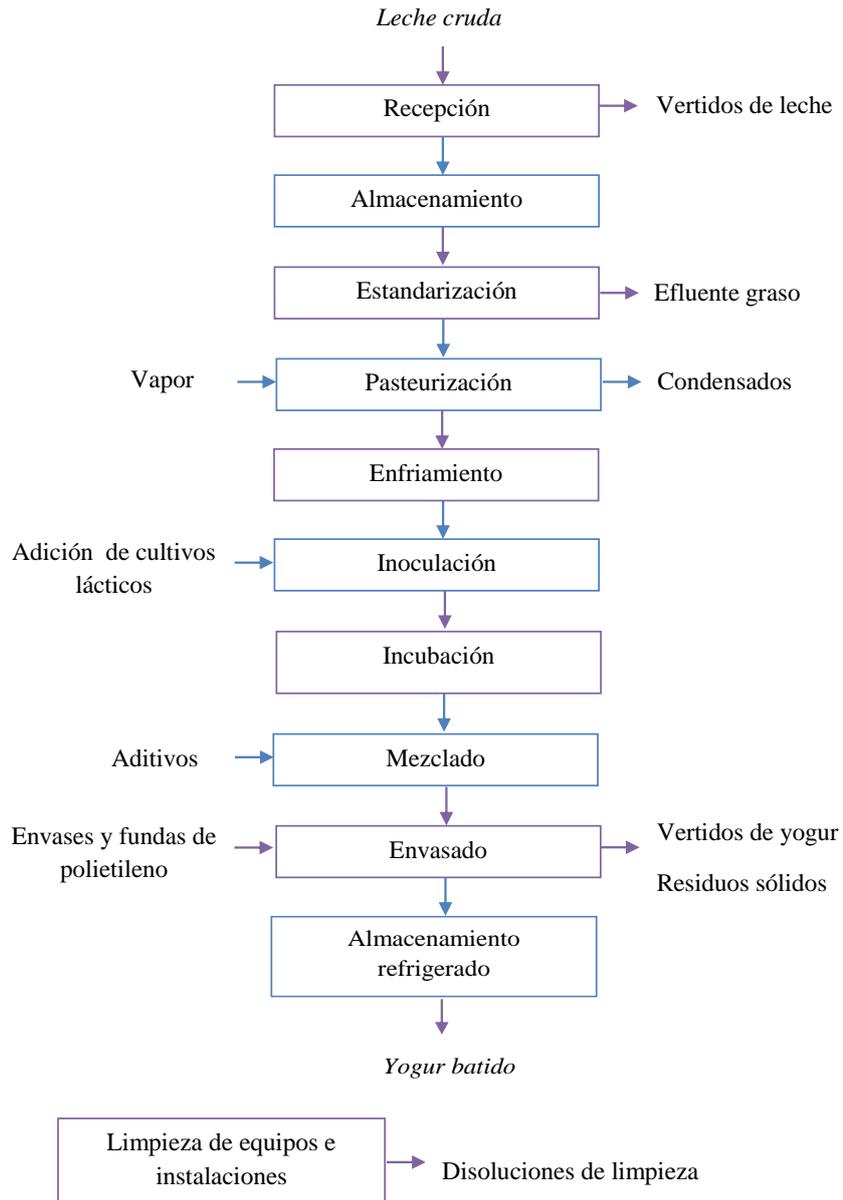


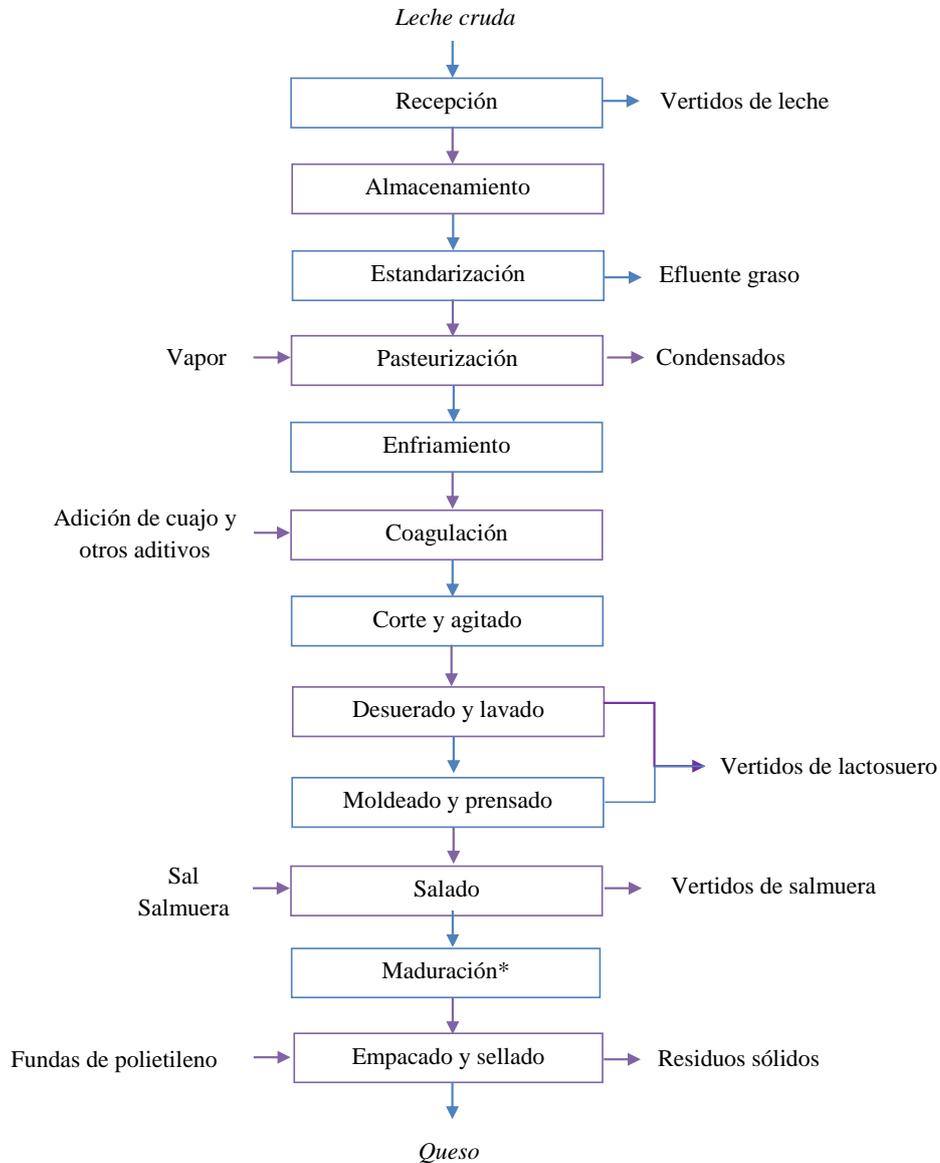
Figura 5-1 Diagrama de elaboración del yogur

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Los efluentes contaminantes en la elaboración del yogur son producidos en las etapas comunes como la recepción, estandarización y tratamientos térmicos a los que somete la materia prima que es la leche.

1.1.3.3.3 Proceso de elaboración del queso

Los vertidos que se producen en la elaboración de quesos son identificados dentro del diagrama de flujo presentado a continuación:



* Esta operación se realiza sólo para determinados tipos de quesos.

Figura 6-1 Diagrama de elaboración de queso

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Algunos efluentes contaminantes en la elaboración del queso fresco se producen en las etapas comunes como la recepción, estandarización y tratamientos térmicos a los que somete la materia prima que es la leche.

1.1.3.3.3.1 Producción de queso

Existe una gran variedad de quesos debido a sus diferentes métodos de preparación, pero existe el proceso estándar para la fabricación de los mismos. Los efluentes más contaminantes en la elaboración de quesos son aquellos que contienen sueros, por lo tanto poseen una elevada cantidad de lactosa y proteínas del suero lácteo.

Cuando los sueros son vertidos de forma directa al cauce provocan un incremento enorme del parámetro DBO. Por esto, algunas industrias lácteas aprovechan dicho suero para alimentación del ganado. En plantas más tecnificadas se obtiene subproductos a partir de él. Además el proceso de salado también provoca la emisión de efluentes líquidos, de poco contenido orgánico pero con una gran cantidad de sales.

1.1.3.3.4 Operaciones auxiliares en planta de lácteos

1.1.3.3.4.1 Transporte de lácteos líquidos

Los productos lácteos líquidos se transportan mediante la utilización de tuberías con la ayuda de bombas apropiadas. En un sistema al momento de la finalización de la conducción del efluente, se produce un empuje con agua para el lavado de restos del líquido, creándose así una zona de mezclado entre el agua y el producto, la cual es enviada a un sumidero; esta operación puede ser manual o de forma automática.

1.1.3.3.4.2 Limpieza de circuitos y equipos

La limpieza de los circuitos y equipos se puede realizar a través de los siguientes pasos:

- Empuje de los residuos de leche y derivados lácteos con agua.
- Lavado con carbonato de sodio diluido al 2-3% aproximadamente a unos 80 °C. Este lavado elimina grasas por saponificación de las mismas mediante arrastre.
- Lavado con solución ácida, normalmente se usa ácido nítrico al 1-2%, a 60°C, para la disolución de materia orgánica esencialmente de origen proteico.
- Empuje final con agua, eliminación de posibles residuos de productos lácteos, de ácidos o de carbonato de sodio.

Las aguas residuales de plantas que procesan leche proceden de los diferentes tipos de lavados. El uso de ácidos y bases como el carbonato de sodio induce a que los vertidos posean valores extremos de pH, pudiendo fluctuar entre 5 y 10,5.

La Tabla 6-1 resume los procesos productivos más usuales que se ejecutan en las plantas procesadoras de leche y sus derivados, y menciona cuales son las operaciones responsables de generar la mayor cantidad de contaminación en las aguas residuales producidas.

Tabla 6-1 Operaciones que generan aguas residuales en las industrias lácteas

Proceso productivo	Operaciones de mayor generación de aguas residuales	Observaciones
Leche	Recepción y estandarización Tratamiento térmico Envasado	Los vertidos con residuos de una gran cantidad de materia grasa. El volumen de vertido depende de la recirculación de las aguas del tratamiento térmico.
Yogur	Limpieza de conductos	Cantidad en función del grado de automatización de los sistemas de limpieza.
Queso	Corte-Desuerado Moldeo-Prensado Salado	El vertido del lactosuero supone un volumen y carga contaminante elevada. La regeneración de las salmueras supone un vertido periódico de elevada conductividad.
Operaciones auxiliares	Limpieza y desinfección Refrigeración	El volumen y carga contaminante de las aguas de limpieza depende de la gestión que se realiza de las mismas. El vertido de las aguas de refrigeración depende del grado de recirculación.

Fuente: (Los vertidos del sector lácteo, 2008)

1.1.3.4 Características de las aguas residuales

1.1.3.4.1 Características organolépticas

1.1.3.4.1.1 Color

La coloración del agua depende de la descomposición de materia vegetal y de la disolución de algunos minerales (en especial manganeso y hierro), este criterio es el más aceptado y excluye al color de agua de descargas industriales. Se clasifica al color como aparente y verdadero; el

color aparente es producido por un material en suspensión y el color verdadero se obtiene después de remover la turbiedad.

En los vertidos industriales el color del agua puede variar según el grado de contaminación, es decir depende de las sustancias disueltas y coloides presentes en ella.

1.1.3.4.1.2 Olor y sabor

Los olores y sabores se producen por la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos, descomposición orgánica y desechos industriales como fenoles, fermentos, derivados del cloro y del alquitrán, entre otros.

1.1.3.4.2 Características físicas

1.1.3.4.2.1 Sólidos

Uno de los parámetros más significativos del grado de contaminación del agua residual es la cantidad de material sólido que contiene una muestra de la misma.

- *Sólidos totales.* Los sólidos totales se definen como el residuo después de evaporación a 103-105° C del agua y constituyen el contenido de partículas contaminantes. Se expresa en mg/l. Los sólidos totales se dividen en sólidos disueltos y sólidos suspendidos. (Cerro, 2014, <http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>)
- *Sólidos disueltos.* Los sólidos disueltos se encuentran principalmente en el agua como sales y gases. Se determinan a través del filtrado de una muestra de agua. Además incluyen coloides que son de tamaño 0.001 a 1µm. Se expresa en mg/l.
- *Sólidos disueltos fijos y disueltos volátiles.* La muestra filtrada se somete a 600°C en una mufla obteniéndose un residuo el cual representa a los sólidos disueltos fijos. Por diferencia se determinan los sólidos disueltos volátiles. Se expresa en mg/l.
- *Sólidos suspendidos.* Los sólidos suspendidos se determinan por la diferencia entre sólidos totales y sólidos disueltos. Este tipo de sólidos son los más importantes para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Su tamaño nominal aproximado es de 1.58 µm. Se expresa en mg/l.

- *Sólidos suspendidos fijos y volátiles.* Los sólidos suspendidos fijos y suspendidos volátiles se determinan de forma análoga a los sólidos disueltos fijos y disueltos volátiles. Se expresa en mg/l.
- *Sólidos sedimentables.* Los sólidos sedimentables se detallan como aquel material que se sedimenta en el fondo de un recipiente conforme en el transcurso de una hora. Se expresan en ml/l medidos en el cono Imhoff.

1.1.3.4.2.2 Turbiedad

Se define como turbiedad a la presencia de impurezas que se encuentran suspendidas en el agua que dificultan el paso de la luz. Las impurezas pueden ser material en suspensión y/o material coloidal. Se utiliza el aparato conocido como nefelómetro o turbidímetro que mide la intensidad de la luz a 90 grados. Se expresa en NTU.

1.1.3.4.2.3 Temperatura

La temperatura influye en la viscosidad y en la cinética de las reacciones químicas. El aumento de temperatura tiene un efecto directamente proporcional en la solubilidad de los gases y en la actividad metabólica de los microorganismos. Se expresa en °C.

1.1.3.4.2.4 Conductividad

La conductividad es medida con la capacidad del agua para conducir electricidad, esta se conduce gracias a la presencia de sales disueltas como iones de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Por lo tanto, la conductividad se considera como una medida indirecta de los sólidos disueltos. Se expresa en micromhos/cm o Siemens/cm.

1.1.3.4.3 Características químicas

1.1.3.4.3.1 Potencial de hidrógeno

El pH es un parámetro que determina las condiciones ácidas y básicas en el agua. Su medición se realiza a través de un instrumento electrónico denominado pH metro.

1.1.3.4.3.2 Acidez

Las aguas que presentan un pH inferior a 8,5 son consideradas como ácidas. Los vertidos industriales muestran acidez mineral debido a la presencia de ácidos fuertes.

1.1.3.4.3.3 Alcalinidad

La alcalinidad puede definirse como la presencia de sustancias de naturaleza básica en el agua. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato, carbonato y oxhidrilo asociados con los iones Na, K, Ca y Mg. Se le conoce también como dureza que se expresa en mgCaCO_3/l .

1.1.3.4.3.4 Componentes orgánicos

Aquellos que proceden de materia orgánica, vegetal y/o animal, pertenecen a este grupo las proteínas, los carbohidratos, los aceites y las grasas. También se incluyen a las moléculas orgánicas sintéticas como los agentes tenso-activos y a los fenoles, que son responsables del olor y sabor desagradable de las aguas.

- *Carbohidratos.* Los carbohidratos son sustancias biodegradables que se encuentran en forma de azúcares, almidones, celulosas, fibras, entre otras. Se expresa en mg/l .
- *Aceites y grasas.* Los aceites y las grasas son compuestos presentes en las aguas residuales provenientes de actividades industriales. La presencia de grasas en el agua puede impedir procesos biológicos importantes como fotosíntesis, respiración y transpiración de algunos seres vivos. Se expresa en mg/l .
- *Detergentes.* Los detergentes son sustancias encargadas de la disminución de la tensión superficial del agua y se caracterizan por producir espuma. La espuma es perjudicial para la absorción y disolución del oxígeno en el agua. A los detergentes se les conoce también como agentes tenso-activos o surfactantes. La desinfección en la industria láctea se realiza con soluciones químicas de hipoclorito, yodoformo y agua oxigenada. Se expresa en mg/l .

1.1.3.4.3.5 Componentes inorgánicos

Aquellos compuestos de origen mineral que pueden presentarse en las aguas residuales como sales minerales, lodos, gravas, arcillas, arenas, sulfatos, cianuros, etc.

- *Nitrógeno*. El nitrógeno se encuentra en forma de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos. Dichos compuestos contribuyen a la contaminación y al incremento de la eutrofización. Su medición se expresa en mg/l.
- *Fósforo*. Es un compuesto indispensable junto con el nitrógeno para el crecimiento de microorganismo. Igualmente es causante de la eutrofización. Su medición se expresa en mg/l.

1.1.3.4.3.6 *Indicadores de contaminación orgánica*

Se les considera a los parámetros que determinan el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. Se aprovecha la capacidad de algunas sustancias de combinarse con el oxígeno.

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*. Este indicador determina la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar, estabilizar, etc. la materia de contenido orgánico. La prueba DBO más utilizada es la DBO₅, aquella que se realiza mediante la incubación de una muestra de agua en el laboratorio para la medición del consumo de oxígeno por los microorganismos presentes al cabo de 5 días; y los resultados se reportan en mg/l de oxígeno consumido. (Sierra, 2011, pp. 50-51)
- *Demanda química de oxígeno (DQO)*. Esta prueba mide la materia orgánica oxidada utilizando un agente químico como oxidante que es el dicromato de potasio, K₂Cr₂O₇. Este análisis demora 3 horas y determina si las sustancias de la muestra son degradables o no; por lo tanto al relacionar DQO y DBO su diferencia aumentará con la presencia de sustancias tóxicas resistentes a la degradación. Se expresa también en mg/l.
- *Carbono orgánico total (COT)*. Este parámetro mide el grado de combustión completa de la materia orgánica presente en una muestra de agua. Se utiliza un horno a alta temperatura y el dióxido de carbono formado se determina cuantitativamente a través de un catalizador infrarrojo. La concentración de COT es una medida del grado de contaminación de una muestra de agua y por lo tanto puede correlacionarse con la DQO y DBO de la siguiente manera:
 - DBO/DQO < 0,2 Contaminantes de naturaleza no biodegradable.

- $DBO/DQO > 0,4$ Contaminantes de naturaleza biodegradable. (Doménech & Peral Pérez, 2006, p. 190)

A esta relación se la conoce como índice de biodegradabilidad:

- $DQO/DBO = 1,5$ Materia orgánica muy degradable.
- $DQO/DBO = 2$ Materia orgánica moderadamente degradable.
- $DQO/DBO = 10$ Materia orgánica poco degradable.

(Cisterna & Peña, 2015, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>)

La relación DQO/DBO_5 representa la biodegradabilidad de un efluente, por tanto se tiene que:

- Cuando $DQO/DBO_5 < 2,5$ corresponde a un efluente o compuesto biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos como lodos activados o lechos bacterianos.
- Cuando $2,5 < DQO/DBO_5 < 5$ es biodegradable siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos. (Cisterna & Peña, 2015, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>)

➤ *Oxígeno disuelto*. El oxígeno disuelto representa la concentración de oxígeno medida en el agua. Este parámetro indica la cantidad de material procedente de la descomposición de vegetación, el crecimiento microbiano y sus actividades metabólicas, y también de compuestos químicos.

1.1.3.4.4 Características biológicas

Los aspectos biológicos envuelven el conocimiento de los microorganismos más importantes que se encuentran en aguas residuales y que son perjudiciales para la salud como son las bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos.

Debido a la amplia gama de agentes patógenos presentes en las aguas se tomó como indicador de la calidad bacteriológica del agua, a un grupo de microorganismos denominados bacterias coliformes.

1.1.3.4.4.1 Indicadores de contaminación fecal

Los métodos bacteriológicos para la detección de bacterias coliformes son la técnica de filtro membranas y la técnica de tubos múltiples de fermentación; ambas técnicas se encuentran estandarizadas al igual que los métodos de muestreo y análisis. Se expresan en UFC/100ml.

- *Coliformes totales*: Estas bacterias son Gram negativas aeróbicas y anaeróbicas facultativas, de forma redonda y que no forman esporas. Se caracterizan por fermentar la lactosa y por la producción de ácido y gas en temperatura de incubación de 30 a 37°C en un período de 48 días.
- *Coliformes fecales*: Subgrupo de los coliformes totales responsables de la fermentación de la lactosa a 44,5°C, en su gran mayoría son *Escherichia coli* y algunas especies de *Klesbiella*. Además son capaces de tolerar altas temperaturas y se reproducen en gran cantidad por condiciones favorables de pH, temperatura, etc.

1.1.3.5 *Legislación ambiental para descarga de aguas residuales*

1.1.3.5.1 *“Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1*

1.1.3.5.1.1 *Normas de descarga de efluentes al sistema del alcantarillado público*

Se prohíbe la descarga en un sistema de alcantarillado público, de cualquier sustancia que pueda ocasionar bloqueo en colectores o en sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o malolientes, o que causen el deterioro significativo de los materiales de construcción. Se incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- a. Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- b. Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
- c. Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- d. Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- e. Fosgeno, cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas.” (TULSMA, 2015)

Toda descarga al sistema de alcantarillado deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 7-1 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 alcantarillado.
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
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	20,0
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
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organoclorados y carbonatos (totales)	Concentración de organoclorados y carbonatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: TULSMA. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua: Libro VI Anexo 1 Tabla 11

1.1.4 Tratamiento de las aguas residuales en la industria láctea

El tratamiento de las aguas residuales tiene como propósito disminuir y/o evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica, microbiológica y radioactiva de los cuerpos de agua receptores.

El tratamiento de efluentes generalmente tiene el objetivo de impedir:

- Daños a los suministros públicos, privados e industriales de agua.
- Deterioro en aguas consignadas para la recreación y el esparcimiento de las poblaciones.
- Daños a las actividades piscícolas.
- Menoscabo a la agricultura y devaluación de la calidad de tierra o suelo.
- Impacto al medio ambiente. (Rojas, 2002, p.19)

Un sistema de tratamiento contiene desde una cadena de operaciones unitarias que son métodos en donde predominan fenómenos físicos, hasta procesos unitarios aquellos que promueven la eliminación de los contaminantes en base a procesos químicos o biológicos. (Hammeken & Romero, 2005, pp. 34-37)

En la actualidad, estas operaciones y procesos unitarios se congregan para componer cuatro etapas que comprenden el sistema de tratamiento de aguas residuales y son tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado.

El tratamiento para aguas residuales procedentes de lácteos requiere ser diseñada fundamentalmente para remover niveles contaminantes medidos a través de los parámetros: DBO₅, aceites y grasas, sólidos suspendidos, y para modificar el pH del vertido.

De manera general, el tratamiento de efluentes lácteos involucra un tratamiento biológico antecedido de separación de sólidos suspendidos y de grasa y aceites. En la elaboración del queso debido a la gran cantidad de DQO y la elevada conductividad del suero se requeriría una recuperación del mismo; además se necesitaría la eliminación de fósforo.

Los vertidos de lácteos deben cumplir con los límites establecidos en la legislación ambiental en función del lugar al que se descarga los efluentes, se muestra a continuación una tabla que puede servir de guía para la selección del sistema adecuado.

Tabla 8-1 Etapas de tratamiento adecuadas según el punto de descarga de aguas residuales del sector lácteo

Etapas de tratamiento	Descargas a cuerpos superficiales		Descarga al sistema de alcantarillado	
	Altamente recomendable	Recomendable	Altamente recomendable	Recomendable
Separación de sólidos	X		x	
Separación de sólidos finos		x		X
Desgrasadora o coalescedores		x		X
Estanque de ecualización	X		x	
Ajuste de pH	X		x	
Coagulación				
Floculación		x	x	
Flotación		x	x	
Neutralización				
Tratamiento biológico	X		x	
Sedimentación secundaria	X		x	

Fuente: (Los vertidos del sector lácteo, 2008)

1.1.4.1 Etapas de tratamiento para aguas residuales lácteas

1.1.4.1.1 Captación

1.1.4.1.1.1 Canales

Se conoce como canales a los conductos cerrados o abiertos en donde circula el agua sin presión alguna por efecto de la gravedad, debido a que la superficie del líquido se encuentra en contacto con la atmósfera.

Los canales según su origen pueden ser:

- *Canales naturales*: Los cursos de agua naturales que puede ser arroyuelos, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagunas, lagos y algunas corrientes subterráneas. La sección transversal de un canal natural es de forma irregular y variable en todo su trayecto.
- *Canales artificiales*: Aquellos construidos por el hombre como canal de riego, de control de lluvias, de alcantarillado, de navegación, sanitario, entre otros. Estos son diseñados en forma geométrica con secciones transversales invariables y pendientes de fondo constantes. Las secciones transversales frecuentes son: trapezoidal, rectangular, parabólica y triangular.

La selección de la sección transversal depende de la clase de canal a construir; así trapezoidal para canales revestidos, rectangular para canales revestidos con material estable, parabólica y circular para colectores y túneles, y triangular para canales pequeños como cunetas. (Rodríguez P. , 2008)

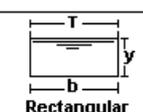
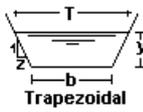
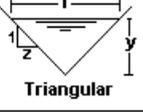
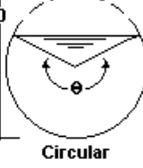
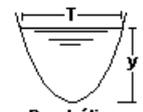
Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 7-1 Secciones transversales para canales abiertos

Fuente: (Rodríguez P., 2008)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

La velocidad media del agua en canales abiertos se relaciona con su profundidad y la distancia de sus paredes, por lo tanto dependerá del tipo de material de revestimiento. A continuación se presentan velocidades máximas admisibles para canales.

Tabla 9-1 Velocidades del agua medias máximas admisibles para canales abiertos revestidos

Tipo de revestimiento	Velocidad media máxima admisible del agua (m/s)
Hormigón de cemento moldeado en obra	2,5
Hormigón de cemento prefabricado	2.0
Ladrillos	1,4-1,6
Bloques de cemento	1,6

Fuente: (Estructuras de conducción del agua)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Los canales deben tener cierto espacio entre la superficie libre del agua y sus bordes como margen de seguridad debido a niveles extraordinarios de caudal, para seleccionar dicho borde del libre del canal se puede relacionar este en función al caudal, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10-1 Borde libre en función al caudal para canales abiertos

Caudal (m ³ /s)	Borde libre(m)
Menor a 0,50	0,30
Mayor a 0,50	0,40

Fuente: (Rojas Rubio)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Tabla 11-1 Previsión de capacidad de conducción de agua en canales revestidos

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	40-70
0,50	0,40	40-70	70-120	100-160	120-200
0,80	0,60	140-240	230-370	320-530	400-650

*Primer número para canal con paredes rugosas y segundo con paredes lisas.

Fuente: (Estructuras de conducción del agua)

1.1.4.1.1.1 Dimensionamiento del canal

En el dimensionamiento de rejías es necesario el diseño de un canal, aquel que guiará el agua a tratar al sistema de tratamiento y en donde se realizara la instalación propia de las rejías. La geometría de la sección transversal del canal bajo el nivel del agua será en este caso rectangular:

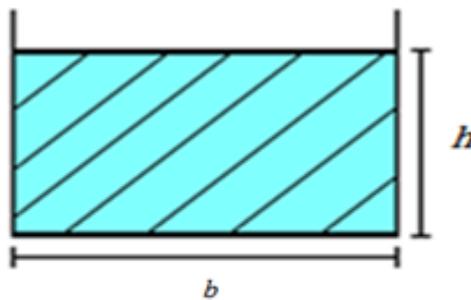


Figura 8-1 Sección transversal canal rectangular

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

➤ Ecuación de Manning

La ecuación de Manning relaciona la capacidad de conducción y la forma, el gradiente efectivo o pérdida de carga, y la rugosidad de las paredes del canal.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S'^{1/2}$$

Ecuación 1

En donde:

v : Velocidad media del agua en el canal, m/s.

n : Coeficiente de rugosidad Manning de las paredes del canal. Tabla 12-1.

R_h : Radio hidráulico del canal, m.

S' : Pendiente m/m (0,02 para canal rectangular revestido Tabla 11-1).

Tabla 12-1 Coeficiente de Manning

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

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

- Área de la sección transversal mojada del canal

$$A = h \times b$$

Ecuación 2

En donde:

A : Área de la sección transversal mojada, m².

h : Altura efectiva, m.

b : Ancho del canal, m. Tabla 11-1.

- Altura efectiva

La altura efectiva es la altura máxima del agua en el canal:

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

Ecuación 3

En donde:

h : Altura efectiva, m.

A : Área del canal, m².

b : Ancho del canal, m. Tabla 11-1.

➤ Altura del canal

Para la profundidad del canal se considera un factor de seguridad se tiene:

$$H = h + h_s$$

Ecuación 4

En donde:

H : Profundidad del canal, m.

h : Altura efectiva, m.

h_s : Borde libre del canal, m. Tabla 10-1.

➤ Radio hidráulico

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

Ecuación 5

En donde:

R_h : Radio hidráulico, m.

h : Altura efectiva, m.

b : Ancho del canal, m. Tabla 11-1.

1.1.4.1.2 Pre-tratamiento

Es un proceso para la eliminación de residuos de las aguas residuales, es decir que existe una separación de elementos del agua residual por operaciones físicas o mecánicas. Estos materiales por su naturaleza grasa y aceitosa o por su tamaño (ramas, palos) pueden provocar problemas en los tratamientos consecutivos, por consiguiente su propósito es adecuar el agua residual para los tratamientos primario y secundario; remover materiales que puedan obstruir los equipos y reducir la acumulación de dichos materiales.

El diseño adecuado y posterior mantenimiento para la etapa de pre-tratamiento son aspectos relevantes puesto que cualquier deficiencia resultará de forma negativa en las instalaciones consecutivas causando dificultades en tuberías, válvulas, uniones y bombas, además deterioro de equipos, formación de costras y demás.

Las operaciones que pertenecen al pre-tratamiento se enumeran a continuación:

- Desbaste.
- Tamizado.
- Desengrasado.
- Preaireación.

1.1.4.1.2.1 Desbaste

El desbaste es la eliminación de los sólidos de tamaño superior a 1-2 mm (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) para impedir el deterioro y/o bloqueo de los equipos mecánicos obstruyendo así el paso del flujo de agua. Utiliza barroses o rejas con diversas separaciones y pueden de limpieza manual o limpieza automática. Es uno de los procesos habituales para tratar aguas residuales de una planta láctea.

Las rejas pueden ser de limpieza manual o mecánica, a continuación se muestran las características de cada tipo de reja y los factores a considerar para el proyecto de instalación.

Tabla 13-1 Información típica para el proyecto de rejas o barras de limpieza manual y mecánica

Características	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	30-45	0-30
Velocidad de aproximación, m/s	0,3-0,6	0,6-1,1
Pérdida de carga admisible, mm	150	150

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

1.1.4.1.2.1.1 Ubicación de las rejjas

El emparrillado de las rejjas se ubica de forma inclinada con respecto al piso del canal en donde se realiza su instalación. De preferencia este canal debe ser recto, horizontal y perpendicular a la reja para la repartición uniforme de los sólidos detenidos por la misma.

1.1.4.1.2.1.2 Dimensionamiento para rejjas de limpieza manual

El dimensionamiento de rejjas o barras requiere del conocimiento de la velocidad del efluente que va a ingresar al sistema de tratamiento, para establecer una comparación de los parámetros de velocidad y abertura de dichas rejjas de acuerdo a las referencias bibliográficas.

Al utilizar rejjas de limpieza manual, la longitud de las mismas no debe exceder los 3 metros para permitir su correcta limpieza. Además las barras que integran la reja no suelen exceder los 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad. En la parte superior de la reja es recomendable colocar una placa perforada para que los objetos extraídos para que los materiales retenidos se almacenen temporalmente hasta su drenaje. (Metcalf & Eddy, 1995)

En la siguiente figura se muestra una reja de limpieza manual típica con placa perforada recomendada anteriormente.

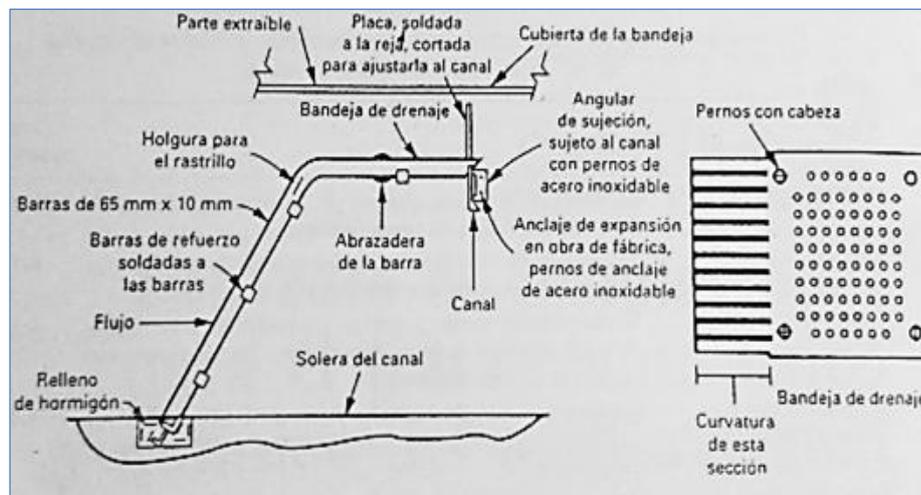


Figura 9-1 Reja de barra de limpieza manual

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

- Sumatoria de las separaciones entre rejas

$$b_g = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e$$

Ecuación 6

En donde:

b_g : Sumatoria de las separaciones entre rejas, mm.

b : Ancho del canal, mm.

e : Separación entre barras, mm. Tabla 13-1.

s : Espesor de las barras, mm. Tabla 13-1.

- Número de barras

$$n' = \frac{b_g}{e} - 1$$

Ecuación 7

En donde:

n' : Número de barras

b_g : Sumatoria de las separaciones entre rejas, mm.

e : Separación entre barras, mm. Tabla 13-1.

- Longitud de las barras

$$l_b = \frac{H}{\text{sen } \theta}$$

Ecuación 8

En donde:

l_b : Longitud de barras, mm.

H : Profundidad del canal, m.

θ' : Pendiente en relación a la vertical, grados. Tabla 13-1.

- Área de espacios entre barras

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

Ecuación 9

En donde:

A_{sb} : Área de espacios entre barras, m².

b_g : Sumatoria de las separaciones entre rejas, m.

l_b : Longitud de barras, m.

- Velocidad a través de la reja

$$V = Q / A_{eb}$$

Ecuación 10

En donde:

V : Velocidad a través de la reja, m/s.

Q : Caudal, m³/s.

A_{eb} : Área de espacios entre barrotes, m².

- Pérdidas de carga a través de una reja

Existen pérdidas hidráulicas en el uso de rejillas, aquellas que se encuentran en función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad del flujo a través de los barrotes.

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

Ecuación 11

En donde:

h_l : Pérdida de carga, m.

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

(Metcalf & Eddy, 1995)

V : Velocidad del flujo a través de los barrotes, m/s.

v : Velocidad de aproximación del fluido, m/s. Tabla 13-1.

g : Aceleración de la gravedad, m/s².

La ecuación 11 sólo puede ser aplicada en caso de las rejillas se encuentren limpias debido a que las pérdidas de carga aumentan de acuerdo a la cantidad de residuos retenidos que se acumulan en las rejillas.

1.1.4.1.2.2 *Desengrasado*

El desengrasado busca la eliminación de sustancias grasas y demás material flotante más ligero que el agua. Dentro de los desengrasadores se distingue dos tipos:

- Desengrasadores estáticos
- Desengrasadores aireados.

Los desengrasadores estáticos se caracterizan por el paso de las aguas a través de un depósito dotado de un tabique, que las obliga a salir por la parte inferior del mismo permitiendo que los componentes de densidad inferior al agua, permanezcan retenidos en la superficie. Un desengrasador estático muy conocido es la trampa de grasas, aquella que puede retener por sedimentación los sólidos flotantes y suspendidos, materia grasa.

1.1.4.1.2.2.1 Trampa de Grasa

La trampa de grasas se forma por dos compartimentos, los cuales se encuentran separados por una rejilla que no permite el paso de sólidos. Los líquidos ingresan por el compartimiento más grande en donde los sólidos disueltos, la grasa, es separada debido a que posee una menor densidad que el agua. El funcionamiento de una trampa de grasa se debe a la diferencia de densidades, no separando los aceites emulsionados.

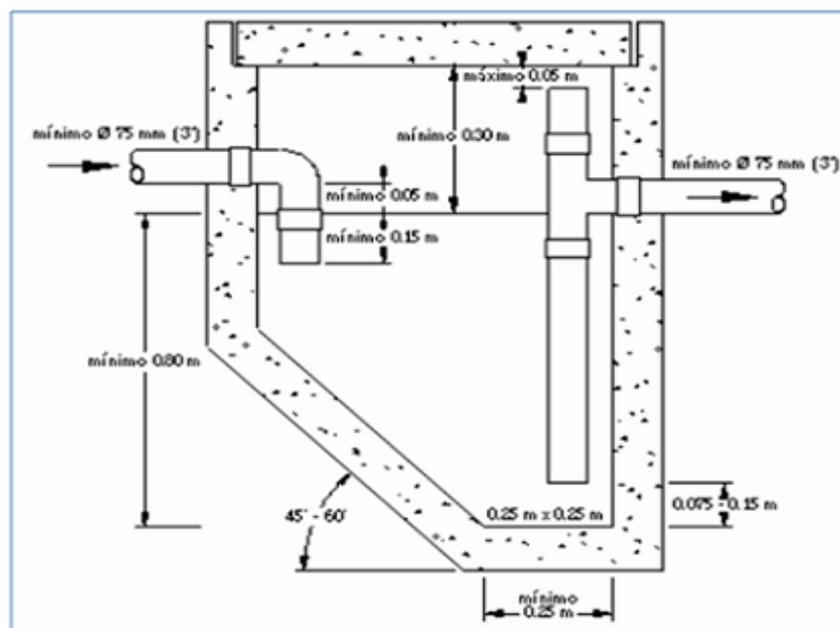


Figura 10-1 Trampa de grasa simple

Fuente: (UNATSABAR, 2013)

1.1.4.1.2.2.2 Dimensionamiento de una trampa de grasa

Estas unidades se diseñan en función de la velocidad de flujo o el tiempo de retención hidráulica. En el Tabla 14-1 se muestran las dimensiones de las trampas grasas de acuerdo a los rangos de volumen de agua proyectados.

Tabla 14-1 Dimensiones de trampa de grasas de acuerdo al caudal

Rango de caudales (l/s)	Volumen de trampa de grasa (m ³)	Dimensiones estimadas (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	2,00	3,6
4-5	8,1	2,0	1,50	2,7

Fuente: (UNATSABAR, 2013)

$$V_T = Q \times Tr_T$$

Ecuación 12

En donde:

V_T : Volumen efectivo de la trampa de grasa, L.

Q : Caudal, L/s.

Tr_T : Tiempo de retención en la trampa de grasa, m.

1.1.4.1.3 Tratamiento primario

En esta etapa se descarta un porcentaje considerable de sólidos suspendidos, coloides y materia inorgánica del agua residual, no remueven microorganismos ni material soluble. El objetivo primordial de los tratamientos primarios se enfoca en la eliminación de sólidos en suspensión, obteniéndose también cierta reducción de la contaminación biodegradable, puesto que los sólidos poseen una parte que se constituye por materia orgánica. A estos tratamientos pertenecen la decantación primaria y los tratamientos físicos químicos.

El tratamiento primario es capaz de remover material contaminante y también una fracción importante de la carga orgánica que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos.

Los procesos en el tratamiento primario son los siguientes:

- Homogenización.
- Sedimentación o decantación primaria.

- Coagulación-Floculación.
- Precipitación química
- Filtración.

1.1.4.1.3.1 Homogenización

La homogenización es una práctica necesaria para las aguas residuales que experimentan variaciones entre los máximos y mínimos caudales y cargas contaminantes. Este es el caso de las industrias lácteas cuyos vertidos no son uniformes y contaminantes.

Existen dos tipos de unidades para la homogenización de caudales denominados unidad en línea o unidad de derivación. Pueden ser tanques de homogenización en línea y difusa. Los primeros se deben diseñar para lograr mezcla completa para amortiguar la concentración. En la industria láctea la homogenización debe ser aireada para impedir fermentaciones no deseadas y consentir la disminución de DQO del vertido final. Es importante indicar que las concentraciones de leche o de suero superiores al 1 o 2% pueden acarrear rápidamente fermentaciones aerobias ácidas, muy difíciles de controlar y que pueden imposibilitar la actividad biológica en su totalidad.

1.1.4.1.4 Tratamiento secundario

Está fundamentalmente orientado a la eliminación de partículas coloidales y similares y de los compuestos orgánicos biodegradables. El tipo de tratamiento más utilizado es el tratamiento biológico puesto que implementa bacterias las cuales digieren la materia orgánica presente.

Aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación. Entre ellos:

- Filtración biológica (percoladores).
- Lodos o fangos activados.
- Lagunas aireadas.
- Procesos facultativos.
- Desinfección.

1.1.4.1.4.1 Lodos o fangos activados

El proceso de fangos activados es comúnmente utilizado para el tratamiento de efluentes provenientes de la industria láctea.

Estos tratamientos se efectúan en grandes estanques o reactores con una suspensión de microbios que forman un barro o lodo activado. Se agrega el agua contaminada y los microorganismos van descomponiendo los contaminantes en sustancias simples (oxidación de materia orgánica), o asimilando otras sustancias en su interior. El ambiente aerobio en el estanque se logra mediante el uso de difusores, que además sirven para mantener el contenido de su interior en estado de mezcla completa. La aireación en el estanque busca el control de olores y mejoramiento del comportamiento hidráulico para la separación de grasas y floculación de sólidos. Además contribuye a la eliminación de DBO₅. En la industria láctea es conveniente para evitar las fermentaciones aeróbicas ácidas no deseadas en las aguas residuales.

A continuación se efectúa una decantación para separar los lodos, se obtiene agua tratada y parte de los lodos se envía de nuevo al estanque. Los lodos a reusar son estabilizados previo contacto con el agua residual.

En la industria láctea se sugiere que la línea de lodos generada en el tratamiento de aguas residuales se realice una estabilización y deshidratación, o aplicación en agricultura o producción de compost.

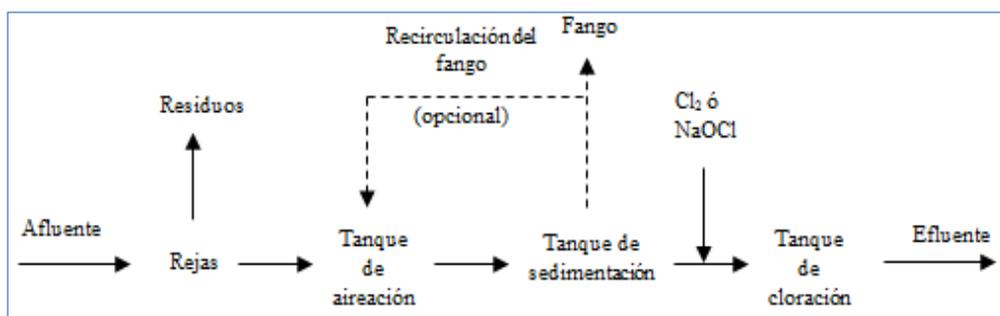
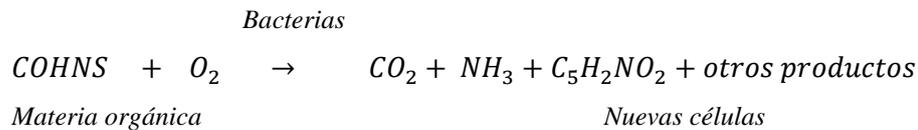


Figura 11-1 Diagrama del proceso de fangos activados

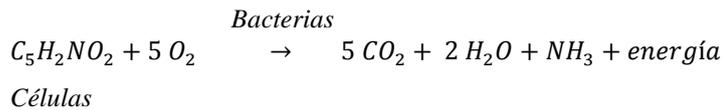
Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Reacciones del proceso de lodos activados

- Oxidación y síntesis:



- Respiración endógena:



Los microorganismos presentes en el proceso pueden ser bacterias del género *Alcaligenes*, *Flavobacterium* y *Pseudomonas*. Las bacterias nitrificantes, *Nitrosomas* y *Nitrobacter*, y *Zooglea ramigera* son las responsables de la purificación del agua. Además los protozoos consumen bacterias dispersas y los rotíferos cualquier partícula pequeña sin sedimentar.

1.1.4.1.4.1.1 Dimensionamiento del sistema de lodos activados

En el dimensionamiento de fangos activados se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Elección del tipo de reactor

La elección del reactor adecuado depende de varios aspectos operacionales como la cinética de las reacciones, las necesidades de transferencia de oxígeno, la naturaleza del agua residual, condiciones ambientales locales y los costos de instalación y mantenimiento.

Los tipos de reactores considerados en el proceso de lodos activados son reactor de mezcla completa y reactor en flujo pistón, siendo el reactor de mezcla completa el más apropiado por suministrar la cantidad adecuada de oxígeno y por su capacidad de soportar cargas de choque producidas por vertidos puntuales con elevado contenido de materia orgánica.

El volumen del reactor se define como

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

Ecuación 13

En donde:

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

θ_c : Tiempo medio de retención celular basado en el tanque de aireación, d. Tabla 16-1.

Y : Coeficiente de producción celular, kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada. Tabla 15-1.

S_o : Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/m^3 .

S : Concentración de DBO en el efluente, kg/m^3 .

Q : Caudal del agua residual a tratar, m^3/d .

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/m^3 . Tabla 16-1.

k_d : Coeficiente de degradación endógena, d^{-1} . Tabla 15-1.

Tabla 15-1 Valores estimados de coeficientes cinéticos de efluente lácteos

Coeficientes	Unidades	Valores
Y	mg SSV/mg DQO	0,449
k_d	d^{-1}	0,0017

Fuente: (Cárdenas, y otros, 2014)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Las dimensiones del reactor se expresa a partir de la siguiente relación

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

Ecuación 14

En donde:

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

a : Ancho del tanque de aireación, m.

H_{TA} : Altura del tanque de aireación, m.

P_{TA} : Profundidad del tanque de aireación, m.

Según Metcalf & Eddy la profundidad del agua residual en un tanque de aireación mediante difusores debe situarse entre 4,6 a 7,6 m para que los difusores sean eficientes; por encima de la superficie libre de agua se debe considerar un resguardo de 0,3 a 0,6 m como factor de seguridad.

➤ Criterios de carga

Para el control del proceso de lodos activados se utilizan varios parámetros empíricos y racionales como la relación de alimento/ microorganismos F/M y el tiempo de retención celular θ_c . La relación alimento/microorganismo es

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{\theta X}$$

Ecuación 15

En donde:

F/M : Relación alimento/microorganismo, d^{-1} .

S_o : Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/m^3 .

θ : Tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación $\theta = V_{TA}/Q$, d. Tabla 16-1.

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

Q : Caudal de entrada, m^3/d .

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/m^3 . Tabla 16-1.

El tiempo de retención celular se define como, a partir del volumen del tanque de aireación

$$\theta_c = \frac{V_{TA} X}{Q_w X_w + Q_e X_e}$$

Ecuación 16

En donde:

θ_c : Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, d. Tabla 16-1.

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

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/m^3 . Tabla 16-1

Q_w : Caudal del fango purgado, m^3/d .

X_w : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el fango purgado, kg/m^3 .

Q_e : Caudal del efluente tratado, m^3/d .

X_e : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el efluente tratado, kg/m^3 .

Esta relación es a partir del volumen total del sistema

$$\theta_{ct} = \frac{X_t}{Q_w X_w + Q_e X_e}$$

Ecuación 17

En donde:

θ_{ct} : Tiempo medio de retención celular basado en el volumen total del sistema.

X_t : Masa total de sólidos suspendidos volátiles del sistema, incluyendo los sólidos del tanque de aireación, del tanque de sedimentación, y los existentes en las instalaciones de retorno de fango, kg.

Q_w : Caudal del fango purgado, m³/d.

X_w : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el fango purgado, kg/ m³.

Q_e : Caudal del efluente tratado, m³/d.

X_e : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el efluente tratado, kg/ m³.

➤ Producción de lodo

Existe una producción diaria de lodo que afecta al dimensionamiento del sistema y a la evacuación del lodo en exceso (purga).

$$P_x = Y_{obs} Q(S_o - S) \times (10^3 g/kg)^{-1}$$

Ecuación 18

En donde:

P_x : Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles, kg/d.

Y_{obs} : Producción observada, kg/kg.

Q : Caudal del agua residual a tratar, m³/d.

S_o : Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/ m³.

S : Concentración de DBO en el efluente, kg/ m³.

La producción observada se define como

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d (\theta_c \text{ o } \theta_{ct})}$$

Ecuación 19

En donde:

Y_{obs} : Producción observada, kg/kg.

K_d : Coeficiente de degradación endógena, d⁻¹. Tabla 15-1.

θ_c : Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, d. Tabla 16-1.

θ_{ct} : Tiempo medio de retención celular basado en el volumen total del sistema.

La elección de θ_c o θ_{ct} depende de si se consideran los sólidos en el tanque de aireación o los sólidos pertenecientes a todo el sistema.

➤ Necesidad y transferencia de oxígeno

La demanda teórica de oxígeno para la eliminación de la materia orgánica carbonosa presente en el agua residual de un sistema de lodos activados se puede calcular por

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_o - S) \times (10^3 g/kg)^{-1}}{f} - 1,42 P_x \quad \text{unidades SI}$$

Ecuación 20

En donde:

Q : Caudal del agua residual a tratar, m³/d.

S_o : Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/ m³.

S : Concentración de DBO 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, medida en términos de SS volátiles, kg/d.

Cuando se considera la nitrificación, la demanda total de oxígeno se calcula como la suma de la demanda necesaria para la eliminación de materia orgánica carbonosa más la demanda de oxígeno necesaria para la conversión del nitrógeno.

$$kg, \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_o - S) \times (10^3 g/kg)^{-1}}{f} - 1,42 (P_x) + 4,57 Q (N_0 - N) \times (10^3 g/kg)^{-1} \quad \text{unidades SI}$$

Ecuación 21

En donde:

Q : Caudal del agua residual a tratar, m³/d.

S_o : Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/ m³.

S : Concentración de DBO 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, medida en términos de SS volátiles, kg/d.

N_0 : NKT del afluente, g/m³.

N : NKT del efluente, g/m³.

4,57: Factor de conversión para la demanda de oxígeno necesario para la oxidación completa del NKT.

Caudal de aire necesario tomando en cuenta la eficiencia de transferencia de O₂ en los equipos de aireación, se determina con las siguientes relaciones:

$$Caudal_{aire\ te\acute{o}rico} = \frac{kg \frac{O_2}{d}}{\rho_{aire} \times F_{O_2}}$$

Ecuación 22

En donde:

$Caudal_{aire\ te\acute{o}rico}$: Caudal del aire te\acute{o}rico, m³/d.

$kg \frac{O_2}{d}$: Demanda te\acute{o}rica de ox\ıgeno, kg/d.

ρ_{aire} : Densidad del aire a condiciones est\andar, kg/ m³.

F_{O_2} : Fracci\on de ox\ıgeno en el aire, kg/kg. (0,232)

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

Ecuaci\on 23

En donde:

$Caudal_{aire\ real}$: Caudal del aire real, m³/d.

$Caudal_{aire\ te\acute{o}rico}$: Caudal del aire te\acute{o}rico, m³/d.

e : Eficiencia.

➤ Necesidades de nutrientes

En un sistema biol\ogico es importante la presencia de nutrientes como nitr\ogeno y f\osforo, de acuerdo a la composici\on media del tejido celular representada como C₅H₇NO₂ se necesitar\a de un 12,4 por ciento de nitr\ogeno en peso. En cuanto al f\osforo se supone una necesidad de la quinta parte de este valor.

➤ Control de organismos filamentosos

El crecimiento de los organismos filamentosos en el licor de mezcla produce fango de pobres caracter\xsticas de sedimentabilidad, esto puede evitarse con la incorporaci\on de un compartimiento separado, denominado selector, como zona para el contacto del efluente primario y el fango activado recirculado.

➤ Control de ox\ıgeno disuelto

“En teor\xa, la cantidad de ox\ıgeno transferida en los tanques de aireaci\on es igual a la cantidad de ox\ıgeno demandada por los microorganismos del sistema de fangos activados para oxidar la materia org\anica y para mantener los niveles operativos de ox\ıgeno disuelto residual. En la

práctica, debería mantener la concentración de oxígeno disuelto en todos los puntos del tanque de aireación entre 1,5 mg/l y 4 mg/l; el valor normalmente empleado es 2mg/l.” (Metcalf & Eddy, 1995)

➤ Control de recirculación de lodo activado

La recirculación tiene como objetivo primordial el mantenimiento de una concentración suficiente de lodo activado en el tanque de aireación para alcanzar el grado de tratamiento deseado.

➤ Purga de fangos

La cantidad de lodos en exceso debe purgarse para mantener la relación alimento/microorganismo. Si se realiza la purga desde la línea de recirculación de lodo, el caudal de recirculación de lodo o fango se determina como

$$\theta_c = \frac{V_{TA} X}{Q'_w X_r + Q_e X_e}$$

Ecuación 24

En donde:

θ_c : Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, d.

V_{TA} : Volumen del tanque de aireación, m³.

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/ m³.

Q'_w : Caudal de purga de fango desde el tanque de aireación, m³/d.

X_r : Concentración del fango en la línea de recirculación, kg/m³.

Q_e : Caudal del efluente tratado, m³/d.

X_e : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el efluente tratado, kg/ m³.

Si la purga es realizada desde el tanque de aireación se tiene la expresión

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

Ecuación 25

En donde:

Q_w : Caudal de purga de fango desde el tanque de aireación, m³/d.

V_{TA} : Volumen del tanque de aireación, m³.

θ_c : Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación, d. Tabla 14-1.

Si se utiliza la relación alimento/microorganismo para controlar el proceso y el caudal de purga desde la línea de la recirculación se emplea la expresión

$$P_r = Q_w X_r$$

Ecuación 26

En donde:

P_r : Fango activado purgado, kg/d.

Q_w : Caudal de purga de fango, m³/d.

X_r : Concentración de sólidos en la línea de recirculación, kg/m³.

Se precisa conocer la concentración de sólidos en la línea de recirculación.

Tabla 16-1 Parámetro de diseño para los procesos de fangos activados

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
Convencional	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5-15	0,2-0,6	0,80-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1,0
Alimentación escalonada	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2000-3500	3-5	0,25-0,75
Alimentación modificada	0,2-0,5	1,5-5,0	1,20-2,40	200-1000	1,5-3	0,05-0,25

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.4.1.4.1.2 Selección y diseño de instalaciones físicas

➤ Aireación con difusores

La aireación del agua residual se puede realizar mediante dos métodos: introducción de aire u oxígeno puro con ayuda de difusores sumergidos u otros sistemas de aireación y agitación mecánica para promover la disolución del aire de la atmósfera.

Los difusores se calificaron en el pasado en dos tipos, de burbujas finas y de burbujas gruesas. En la actualidad, se precisan tres tipos: difusores porosos o de poros finos, difusores no porosos y otros, tales como difusores de chorro, aireadores por respiración u aireadores de tubo en U. Las formas de los difusores porosos pueden ser de placa, de domo, de disco y de tubo. De acuerdo a la transferencia de oxígeno los difusores de discos cerámicos y de domos cerámicos en disposición de malla poseen una eficiencia de 25 a 50%. (Metcalf & Eddy, 1995)

Los soplantes más utilizados son soplantes centrífugas y de desplazamiento positivo. Los soplantes en una planta de tratamiento deben suministrar caudales de aire dentro de un intervalo de presiones muy limitado.

La potencia necesaria para llevar a cabo el proceso de compresión adiabática en los sistemas de aireación a través de soplantes se determina mediante la siguiente expresión:

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

Ecuación 27

En donde:

P_w : Potencia necesaria para cada soplante, kW.

w : Caudal de aire en peso, kg/s.

R : Constante universal de los gases = 8,314 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 : $k - 1/k = 0,283$ Para el aire.

k : 1,395 Para el aire.

e : Eficiencia en compresores, normalmente entre 0,70 y 0,90 (Metcalf & Eddy, 1995).

➤ Aireación mecánica

La aireación mecánica se realiza a través de dispositivos que pueden ser aireadores de eje vertical y aireadores de eje horizontal, ambas categorías se dividen a su vez en aireadores superficiales y aireadores sumergidos. La acción agitadora y de bombeo de los aireadores favorece el mezclado el contenido del tanque de aireación.

Tabla 17-1 Características de funcionamiento del proceso de fangos activados

Modificación del proceso	Modelo de flujo	Sistema de aireación	Eficiencia de eliminación de DBO, %	Observaciones
Convencional	Flujo en pistón	Difusores de aire, aireadores mecánicos	85-95	Utilizado para aguas residuales domésticas de baja concentración. El proceso es susceptible a cargas de choque.
Reactor de mezcla completa	Reactor de mezcla completa agitado	Difusores de aire, aireadores mecánicos	85-95	Utilizado en aplicaciones generales. El proceso es resistente a cargas de choque, pero es susceptible al desarrollo de organismos filamentosos.
Aireación con alimentación escalonada	Flujo en pistón	Difusores de aire	85-95	Utilizado en aplicaciones generales en amplio campo de tipos de aguas residuales.
Aireación modificada	Flujo en pistón	Difusores de aire	60-75	Utilizado para conseguir grados intermedios de tratamiento cuando la presencia del tejido celular en el efluente es aceptable.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

1.1.4.1.4.1.3 Sedimentación secundaria

La sedimentación elimina la mayor parte posible de los sólidos sedimentables, aprovechando la acción de la gravedad. La retirada de estos sólidos es muy importante en las instalaciones de fangos activados puesto producen un efluente bien clarificado y de bajo contenido de sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno.

Los principios de la sedimentación primaria pueden aplicarse en el diseño de los tanques de sedimentación secundaria se debe tener en cuenta la gran cantidad de sólidos presentes en el líquido de mezcla del sistema biológico, debido a que estos sólidos dan pie a la formación de una manto de fango de profundidad variable.

➤ Tipos de tanques de sedimentación secundaria

El sedimentador secundario perteneciente al sistema de lodos activados tiene como objetivo la separación de los sólidos de los fangos del líquido mezcla. Los tipos de tanques comúnmente utilizados son los circulares y los rectangulares, los tanques circulares se construyen entre 10 y 40 metros de diámetro y su radio no debe superar en cinco veces a la profundidad del mismo.

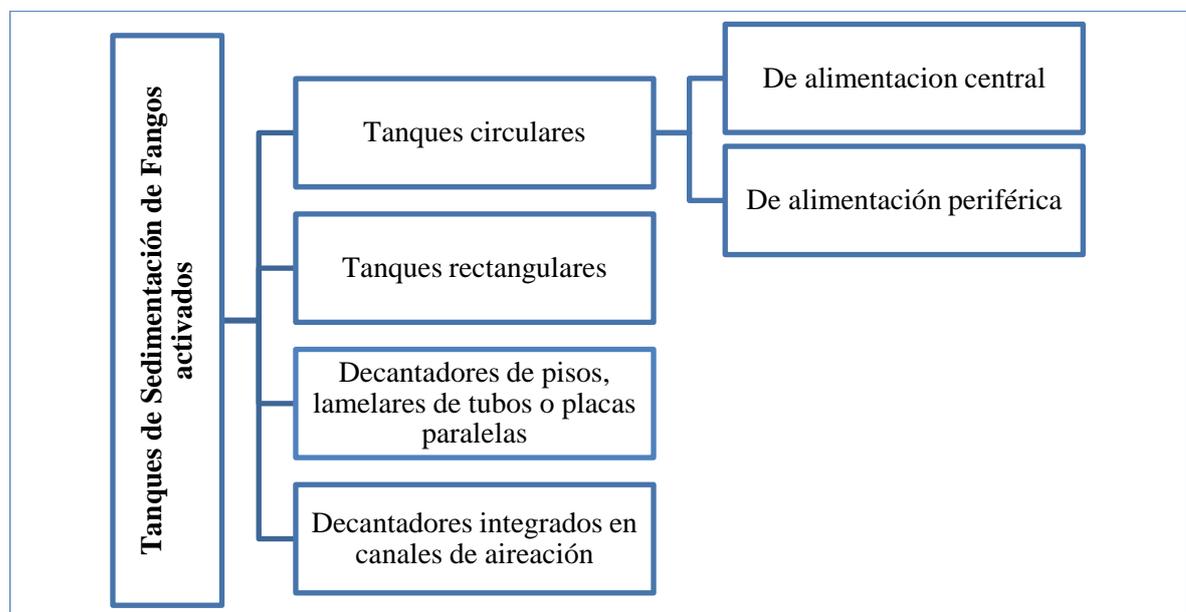


Figura 12-1 Clasificación de tanques de sedimentación secundarios para fangos activados

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Los sedimentadores circulares utilizan mecanismos rotatorios para el transporte y la evacuación del fango, estos pueden ser: aquéllos que rascan el fondo y arrastran el fango a un cuenco central parecido a los empleados en sedimentadores primarios, y aquéllos que eliminan el fango mediante dispositivos de sección que barren la totalidad del tanque en cada revolución.

➤ Propiedades de asentamiento de sólidos suspendidos

La temperatura del agua, la densidad de los sólidos, el tamaño y la forma de los mismos, son los parámetros que afectan al proceso de sedimentación, consecuentemente se sabe que en efluentes fríos se debe reducir la carga superficial de diseño. Por otro lado, la velocidad de asentamiento de sólidos es directamente proporcional a la densidad de los mismos, lo que significa una mayor carga superficial de diseño.

A continuación se muestra los valores típicos de cargas de sólidos empleados en el diseño de procesos de tratamiento biológico.

Tabla 18-1 Información típica de diseño para sedimentadores secundarios

Tipos de tratamiento	Carga de superficie, m ³ /m ² h		Carga de sólidos, kg/m ² h		Profundidad, m
	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continuación de fangos activados (excepto en la aireación prolongada)	0,678-1,356	1,695-2,035	3,90-5,85	9,76	3,6-6,0
Sedimentación a continuación de fangos activados con oxígeno	0,678-1,356	1,695-2,035	4,88-6,83	9,76	3,6-6,0

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

➤ Dimensionamiento del tanque de sedimentación secundario circular

A continuación se muestra una tabla con la información básica para el dimensionamiento de sedimentadores secundarios circulares.

Tabla 19-1 Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios circulares

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Profundidad, m	3-7	5
Diámetro, m	3-61	12-45
Pendiente del fondo, m/m	0,60-0,17	0,08
Velocidad del barredor, rpm	0,02-0,05	0,03

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Carga de superficie

El área del tanque de sedimentación depende de la carga o tasa de sedimentación superficial, en la práctica se acostumbra a reducir la carga superficial y a incrementar los tiempos teóricos de retención.

$$C_s = \frac{Q}{A_{TS}}$$

Ecuación 28

En donde:

C_s : Carga superficial, $m^3/m^2 \cdot h$. Tabla 18-1.

Q : Caudal producido, m^3/h .

A_{TS} : Área del tanque de sedimentación, m^2 .

El área del tanque circular de sedimentación está determinada por la siguiente ecuación:

$$A_{TS} = \pi \times r^2 = \pi \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2$$

Ecuación 29

En donde:

A_{TS} : Área del tanque de sedimentación, m^2 .

r : Radio del tanque de sedimentación, m.

ϕ : Diámetro del tanque de sedimentación, m. Tabla 19-1.

El radio del sedimentador se determina por:

$$r = \sqrt{\frac{A_{TS}}{\pi}}$$

Ecuación 30

En donde:

r : Radio del tanque de sedimentación, m.

A : Área del tanque de sedimentación, m².

El volumen del tanque de sedimentación se define de la siguiente manera:

$$V_{TS} = A_{TS} \times h_{TS}$$

Ecuación 31

En donde:

V_{TS} : Volumen del tanque de sedimentación, m³.

A_{TS} : Área del tanque de sedimentación, m².

h_{TS} : Altura del tanque de sedimentación, m.

El tiempo de retención es igual al volumen del tanque dividido para el caudal

$$Tr_{TS} = \frac{V_{TS}}{Q} = \frac{A_{TS} \times h_{TS}}{Q}$$

Ecuación 32

En donde:

Tr_{TS} : Tiempo de retención del tanque de sedimentación, h.

V_{TS} : Volumen del tanque de sedimentación, m³.

Q : Caudal, m³/h.

Es así que el tiempo de retención teórico es directamente proporcional a la profundidad, generalmente la profundidad de los tanques de sedimentación es mayor de tres metros.

De acuerdo al propósito del sedimentador el tiempo de retención debe ser lo suficientemente largo como para permitir una velocidad de asentamiento de partículas muy baja, en el caso de la sedimentación simple puede ser de varios días.

Se considera el 25% del diámetro como reparto central, entonces:

$$R_c = 0,25 \times \phi$$

Ecuación 33

En donde:

R_c : Reparto central, m.

ϕ : Diámetro del tanque de sedimentación, m. Tabla 19-1

La altura de reparto en tanques de sedimentación se encuentra entre el 1/3 y el 1/5 de la profundidad, tomando como 1/4 para el diseño.

$$H_R = \frac{1}{4} \times h_{TS}$$

Ecuación 34

En donde:

H_R : Altura de reparto central, m.

h_{TS} : Profundidad del tanque de sedimentación, m. Tabla 18-1.

Carga sobre vertederos

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

Ecuación 35

En donde:

C_v : Caudal sobre vertederos, m³/m.d.

Q : Caudal, m³/d.

ϕ : Diámetro del tanque de sedimentación, m. Tabla 19-1.

➤ Almacenamiento de lodos

Se debe tomar en cuenta el volumen para el almacenamiento de lodos, comúnmente los lodos se transportan hacia una tolva de lodos para ser extraídos mediante una tubería de desagüe. Por esta razón el tanque debe tener una pendiente suave hacia la tolva de lodos y su arrastre de sus lodos debe ser lento para no alterar las condiciones del sistema.

1.1.4.1.4.1.4 Disposición de lodos

Los lodos obtenidos del proceso de fango activados deben ser tratados para reducir su contenido de humedad y de esta manera darles una adecuada disposición final.

Los métodos frecuentemente usados para la deshidratación y secado de lodos son los siguientes: filtración a presión, filtración al vacío, eras de secado y centrifugación. Los lodos secados son enviados hacia vertederos controlados o pueden ser usados para la fertilización de suelos como abono.

Tabla 20-1 Características de lodo o fango activado

Proceso	Parámetro	Valor
Lodos activados	Porcentaje de humedad lodo	90,00-93,00
	Densidad relativa sólidos	1,30
	Densidad relativa lodo	1,005

Fuente: (Romero, 1999)

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Según Romero para un lodo activado su densidad relativa de sólidos y de lodo es de 1,3 y de 1,005 respectivamente. El porcentaje de humedad se toma el valor típico de 92%.

Tabla 21-1 Datos típicos sobre las características físicas y las cantidades de fango producido

Proceso de tratamiento	Peso específico de los sólidos del fango	Peso específico del fango	Sólidos secos, kg/10 ³ m ³	
			Intervalo	Valor típico
Decantación primaria	1,4	1,02	110-170	150
Fango activado (en exceso)	1,25	1,005	70-95	83

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

➤ Eras o lechos de secado

En una era de secado convencional de arena se extiende el fango o lodo formando una capa de espesor de 200 a 300 mm para dejarlas secar. La deshidratación ocurre mediante drenaje a través de la masa del fango y arena, y por evaporación desde la superficie que está expuesta al aire. El sistema de drenaje contará con tuberías de drenaje lateral, pueden ser de gres con juntas abiertas o de plástico perforadas, con pendiente mínima del 1% separadas entre 2,5 y 6 m. (Metcalf & Eddy, 1995)

El lecho de arena debe tener de 200 a 300 mm de espesor con un espesor adicional debido a la limpieza, con una uniformidad mayor al 4,0 y el tamaño del grano debe estar entre 0,3 a 0,75 mm. El contenido de humedad del lodo secado debe estar en proporción de 60% después de 10 a 15 días. El período aproximado de secado de lodos oscila entre 10 a 30 días. (Metcalf & Eddy, 1995)

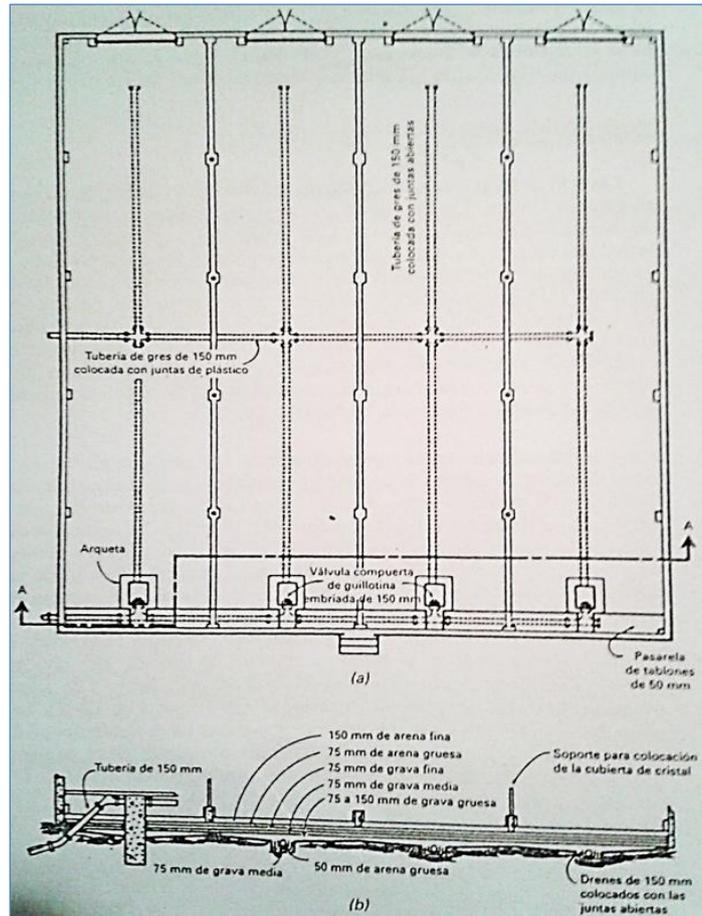


Figura 13-1 Planta y sección de una era de secado de fango típica: (a) planta y (b) sección A-A

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Tabla 22-1 Criterios 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: Gabriela Barragán 2015

➤ Dimensionamiento del lecho o era de secado

Una parte de la producción de lodos del proceso de fangos activados debe ser recirculada hacia el tanque de aireación y lo restante debe ser desechado. La cantidad de lodo a desechar diariamente se calcula mediante la siguiente expresión:

$$M_{Ld} = P_x - C$$

Ecuación 36

En donde:

M_{sL} : Masa de lodos de desecho, kg/d.

P_x : Producción diaria neta de fango activado, kg/d.

C : Carga de sólidos suspendidos perdidos en el efluente, kg/d.

La carga de sólidos suspendidos perdidos en el efluente

$$C = Q \times SS$$

Ecuación 37

En donde:

C : Carga de sólidos suspendidos perdidos en el efluente, kg/d.

Q : Caudal, m³/d.

SS : Sólidos suspendidos en el efluente, kg/ m³.

El volumen de lodos digeridos diariamente

$$V_{Ld} = \frac{M_{sL}}{\delta_L \times (S_L)}$$

Ecuación 38

En donde:

V_{Ld} : Volumen de lodos digeridos diariamente, m³/d.

M_{Ld} : Masa de Masa de lodos de desecho, kg/d.

δ_L : Densidad del lodo, kg/ m³. Tabla 20-1.

S_L : Fracción de sólidos del lodo. Tabla 21-1.

Para el volumen de lodos a extraerse

$$V_{Le} = V_{Ld} \times T_{dL}$$

Ecuación 39

En donde:

V_{Le} : Volumen de lodos a extraerse, m^3 .

V_{Ld} : Volumen de lodos digeridos diariamente, m^3/d .

T_{dL} : Tiempo necesario para digerir los lodos, d.

Área de eras de secado

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

Ecuación 40

En donde:

A_{ES} : Área de eras de secado, m^2 .

V_{Le} : Volumen de lodos a extraerse, m^3 .

H_a : Profundidad de aplicación, m. Tabla 22-1.

Área particular de cada era de secado

$$A_{iES} = l_{ES} \times b_{ES}$$

Ecuación 41

En donde:

A_{iES} : Área particular de cada era de secado, m^2 .

l_{ES} : Longitud de era de secado, m. Tabla 22-1.

b_{ES} : Ancho de era de secado. Tabla 22-1.

Número de eras de secado

$$N_{ES} = \frac{A_{ES}}{A_{iES}}$$

Ecuación 42

En donde:

N_{ES} : Numero de eras de secado.

A_{ES} : Área de eras de secado, m^2 .

A_{iES} : Área particular de cada era de secado, m^2 .

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Parte experimental

2.1.1 Localización de la investigación

El presente trabajo de investigación se efectuó en la planta de lácteos Paraíso situada en la provincia de Cotopaxi, región sierra del Ecuador, en su cabecera cantonal la ciudad de Salcedo. Las instalaciones de la industria láctea se ubican en la Avenida Jaime Mata Yerovi. Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas latitud: -1,047852; y longitud: -78,593620; coordenadas UTM Zona 17 Hemisferio Sur X: 767808,56; Y: 9889371,65



Figura 14-2 Mapa provincia de Cotopaxi

Fuente: (Wikipedia, 2015)

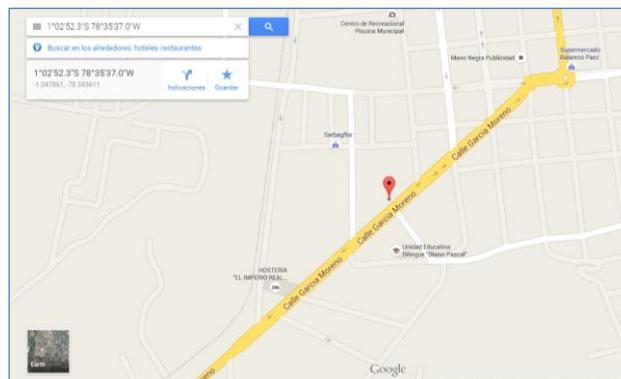


Figura 15-2 Ubicación de planta de lácteos Paraíso

Fuente: (Google Earth)



Figura 16-2 Instalaciones planta de lácteos Paraíso

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

El personal de la planta de lácteos Paraíso trabaja durante 12 horas para producir leche, yogur y queso fresco; pero se realiza un turno más por la noche para la producción de queso fresco, por lo tanto la planta opera las 24 horas. Además al tratarse de productos lácteos las operaciones de la planta se realizan de domingo a domingo.

2.1.1.1 *Leche pasteurizada*

La leche pasteurizada para consumo se produce en presentaciones de 1 litro y bajo tres nombres comerciales: Produlache, La Granja y Proleche.



Figura 17-2 Leche pasteurizada en presentación de 1 litro

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

2.1.1.2 Queso fresco

La planta produce queso fresco en dos presentaciones:

Tabla 23-2 Presentaciones de la elaboración de queso

Producto	Peso (g)
Queso fresco	500
	750

Realizado por: Gabriela Barragán 2015



Figura 18-2 Queso fresco en presentación de 500 gramos

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

2.1.1.3 Yogur

El yogur se envasa en diferentes presentaciones:

Tabla 24-2 Presentaciones de la elaboración de yogur

Baldes (l)	Pomas (l)	Frasco (l)	Frasco pequeño (ml)	Con hojuelas de maíz (ml)	Sachet (ml)	
1	1	0,5	100	50	50	
2	2		150	100		
4	4		180	150		100
			200	250		

Realizado por: Gabriela Barragán 2015



Figura 19-2 Yogur en sus diversas presentaciones

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

2.1.2 Metodología

En el presente trabajo de investigación se identificó que la recolección de todos los vertidos provenientes de las líneas de producción de la planta se realiza en un solo pozo que se dirige directamente a la red de alcantarillado del cantón Salcedo.

A continuación de la obtención de la muestra se procederá a realizar la caracterización inicial del agua residual para realizar una comparación de los parámetros con la norma para la descarga al alcantarillado perteneciente al TULSMA, y así proceder a la identificación de aquellas características que se encuentran fuera del rango permisible.

De acuerdo a las características de los contaminantes se procede a realizar pruebas de tratabilidad para dicho efluente de origen lácteo, empezando por pruebas con tratamientos físicos, químicos y por último biológicos. La caracterización final del agua residual que ha sido tratada debe arrojar valores de parámetros que se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental, de esta manera se puede escoger tratamiento más adecuado para el efluente.

La validación del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto en el presente trabajo se demuestra a través de los resultados obtenidos en la caracterización del efluente tratado.

2.1.2.1 Medición de caudales

La medición del caudal se realizó mediante el método de aforo por tratarse de un pozo de difícil acceso en el cual se recolectan aguas residuales que engloban aguas de proceso y aguas de lavado de la planta. La medición fue realizada durante siete días, desde las 6:00 hasta las 17:00,

en intervalos de una hora, obteniéndose 12 mediciones al día; y un total de 84 mediciones a la semana para la determinación apropiada de caudales horarios representativos.

En la medición se utilizó un balde graduado de 10 litros y un cronómetro. Mediante la aplicación de la siguiente fórmula se estableció el caudal del agua residual de la planta de lácteos:

$$Q = V/t$$

Ecuación 43

En donde:

Q : Caudal, l/s.

V : Volumen del recipiente, l.

t : Tiempo de llenado, s.

2.1.2.2 Muestreo

2.1.2.2.1 Recolección de muestras

Los procesos de elaboración de leche, yogur y queso fresco, así como la limpieza y desinfección de los equipos e instalaciones producen descargas de vertidos que se recogen en varias tuberías que desembocan en un solo pozo, en dicho pozo se realiza el muestreo de las aguas residuales industriales.

El tipo de muestra a utilizar en el presente trabajo de investigación es la muestra compuesta, esta comprende de la combinación de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo a diferentes tiempos. Cada muestra fue recolectada desde las 7:00 hasta las 16:00, en intervalos de una hora, teniendo así 10 muestras en el día para obtener la muestra compuesta representativa.

El volumen de cada alícuota para formar la muestra compuesta se determinó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$$

Ecuación 44

En donde:

V_i : Volumen de cada alícuota o porción de muestra, l.

V : Volumen total a componer, l.

Q_i : Caudal instantáneo de cada muestra, l/s.

Q_p : Caudal promedio durante el muestreo, l/s.

n : Número de muestras tomadas.

En el transcurso del muestreo se midió el pH y la temperatura in situ, el primer parámetro se determinó con la ayuda de tiras indicadoras de pH y el segundo parámetro se registró con la ayuda de un termómetro. Los recipientes fueron debidamente rotulados y transportados en hieleras para que las muestras no sufran alteración hasta la realización de los análisis.

2.1.3 Caracterización del agua residual

Las pruebas de caracterización se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y en CESTTA ubicados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

2.1.3.1 Métodos

La caracterización del agua residual en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia de Tecnológica Ambiental CESTTA es realizada de acuerdo a los métodos detallados a continuación:

Tabla 25-2 Métodos utilizados en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia de Tecnológica Ambiental CESTTA

Parámetros	Método/ Norma
Potencial de hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B
Conductividad eléctrica	PEE/LABCESTTA/06 Standard Method No. 2510 B
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B
Aceite y grasas	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B
Fósforo Total	PEE/LABCESTTA/21 Standard Methods No. 4500-P B5
Sólidos Sedimentables	PEE/LABCESTTA/56

	Standard Methods No. 2540 F
Sólidos Suspendidos	PEE/LABCESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D
Sólidos Totales	PEE/LABCESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B
Nitrógeno Total	PEE/LABCESTTA/210 Standard Method No. 4500-Norg C
Coliformes Totales	PEE/LABCESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B
Coliformes Fecales	PEE/LABCESTTA/48 Standard Methods No. 9222 D y 92221

Fuente: Centro de Servicios Técnicos y Transferencia de Tecnológica Ambiental CESTTA.

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

2.1.3.2 *Técnicas*

En el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias las técnicas utilizadas para las pruebas de caracterización se fundamentan en:

- Manual “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales).
- Manual de Métodos HACH.

2.1.4 *Datos experimentales*

2.1.4.1 *Caudal volumétrico del agua residual*

El caudal registrado del agua residual proveniente de las líneas de proceso en la planta de lácteos Paraíso durante una semana mediante la utilización del método volumétrico se presenta a continuación:

Tabla 26-2 Valores de caudal del agua residual

Hora	Caudal (m ³ /h)						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6:00	0,751	0,762	0,813	0,914	0,609	0,613	0,512
7:00	2,707	3,486	2,973	3,403	3,371	3,486	3,207
8:00	3,845	1,349	2,549	2,308	2,599	2,278	2,129
9:00	2,308	0,733	2,235	2,740	2,279	2,733	3,392
10:00	0,899	0,677	2,777	2,877	2,657	1,977	1,876
11:00	3,061	3,100	3,921	3,980	3,678	3,913	3,063
12:00	1,565	2,748	2,346	2,089	2,092	1,948	2,128
13:00	0,313	1,252	1,102	0,782	1,653	0,899	1,114
14:00	2,278	2,278	2,385	1,987	1,989	2,012	2,654
15:00	2,263	2,263	3,039	2,958	2,785	2,659	2,857
16:00	2,767	1,767	2,942	2,743	2,854	2,789	2,454
17:00	3,061	2,767	2,963	3,067	2,890	3,059	2,963
Promedio	2,152	1,932	2,504	2,487	2,455	2,364	2,362

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

De acuerdo a los valores que se muestran en la tabla, se puede reconocer como valor promedio o caudal promedio semanal a 2,322 m³/h.

El dimensionamiento de la planta de la planta de tratamiento se realizará tomando el valor de 1,932 m³/h del caudal de promedio obtenido correspondiente al día martes de la planta de lácteos “Paraíso”.

2.1.1. Caracterización inicial del agua residual

Los parámetros fundamentales utilizados para el diseño de plantas de tratamiento para vertidos de origen lácteo son pH, DQO, DBO₅, grasas y aceites y sólidos suspendidos; por tratarse de descargas con una gran cantidad compuestos orgánicos de biodegradabilidad elevada.

Los valores de pH estimados en el sitio de toma de las muestras oscilaron ente 6 a 12, esto se debe a la presencia de las diferentes sustancias que se descargan del proceso de la planta de lácteos, tales como son las aguas de proceso y las disoluciones de limpieza con ácido nítrico, hidróxido de sodio y peróxidos.

Otro parámetro determinado in situ fue la temperatura, obteniéndose como valor mínimo 24°C y como valor máximo 34°C.

Las pruebas de caracterización de las muestras de agua residual obtenidas arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 27-2 Resultados de la caracterización del agua residual

Parámetros	Unidad	Resultado			Valores Promedio	*Límite permisible TULSMA
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		
Potencial de hidrógeno	-	4,31	5,96	6,15	5,47	5-9
Conductividad eléctrica	uS/cm	1192	2560	1192	1648	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	6060	>1500	5108	5584	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	3939	3797	3320	3685	250
Aceite y grasas	mg/l	345	>100	>100	345	100
Fósforo Total	mg/l	28,01	28,01	28,01	28,01	15
Sólidos Sedimentables	ml/l	0,2	0,5	0,5	0,4	20
Sólidos Suspendedos	mg/l	488	1032	556	692	220
Sólidos Totales	mg/l	2632	1486	1486	1868	1600
Nitrógeno Total	mg/l	128,62	128,62	128,62	128,62	40

*Tabla 11 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado público del TULSMA

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Centro de Servicios Técnicos y Transferencia de Tecnológica Ambiental CESTTA

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

La tabla 27-2 exhibe como la mayoría de los parámetros analizados se encuentran fuera del rango permisible en la normativa ambiental; los valores de pH y de sólidos totales en los dos último muestreos se encuentran dentro del rango establecido.

Los parámetros de coliformes totales y fecales no se consideran en la Tabla 11 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado del TULSMA, en los resultados de la caracterización se obtuvo $>1 \cdot 10^8$ y $1 \cdot 10^6$ UFC/100ml para coliformes totales y coliformes fecales respectivamente; demostrando así la gran cantidad de microorganismos presentes en el agua residual proveniente de “Lácteos Paraíso”.

2.2. Pruebas de tratabilidad

Los procesos físico-químicos para la tratabilidad realizados en el laboratorio para el agua residual no cumplieron con el objetivo deseado de obtener un agua residual tratada que cumpliera con los parámetros establecidos en la Tabla 11 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado del TULSMA.

Entonces se procedió a seleccionar el tratamiento biológico para tratar el agua residual proveniente de la planta de lácteos Paraíso. Unos de los tratamientos biológicos más utilizados es el sistema de lodos o fangos activos. Para diseñar una planta de tratamiento de fangos activos, es necesario conocer la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el efluente por lo cual se determina DBO₅, no obstante también es conveniente la medición de DQO, así se consigue información sobre la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. (Doménech & Peral Pérez, 2006, p. 190)

2.2.1. Relación DQO/DBO₅

La relación DQO/DBO₅ representa la biodegradabilidad de un efluente, por lo tanto cuando:

DQO/DBO₅ < 2,5 Corresponde a un efluente o compuesto biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos como lodos activados. Y cuando

2,5 < DQO/DBO₅ < 5 Es biodegradable siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos. (Cisterna & Peña, 2015, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>)

Los valores de DQO y DBO a considerar para determinar la biodegradabilidad del efluente son aquellos valores más altos registrados en la caracterización del agua residual:

- DQO: 6060 mg/l
- DBO₅: 3939 mg/l

Teniendo así que la relación de DQO/DBO₅ es:

$$\frac{6060}{3939} = 1,54$$

Este valor indica que el efluente posee contaminantes de naturaleza orgánica muy biodegradables. Además como **1,54 < 2,5** valor que indica que el efluente puede tratarse en un sistema biológico de **lodos activados**.

El sistema de lodos activados comprende un tanque de aireación como reactor biológico seguido de un sedimentador para la evacuación de los lodos generados por la degradación biológica. En el laboratorio se utilizó el proceso de aireación continua para tratar el agua residual como simulador del reactor biológico.

2.3. Dimensionamiento de la planta de tratamiento

La planta de lácteos procesa alrededor de 25000 litros de leche diarios destinados a la producción de leche de consumo, queso y yogur. Las aguas residuales provenientes de las diferentes líneas de producción y de limpieza de los equipos e instalaciones se recogen en un único pozo que desemboca al sistema de alcantarillado público; dichos vertidos industriales son enviados al alcantarillado sin el tratamiento adecuado debido a la inexistencia de una planta de tratamiento de efluentes.

El dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales tiene como dato fundamental para los cálculos de diseño, el caudal volumétrico correspondiente al vertido de dichas aguas, además se toman en cuenta sus características físicas, químicas y microbiológicas.

La descarga del agua residual después del tratamiento se deberá dirigir hacia el sistema de alcantarillado del cantón Salcedo, en donde está ubicada la planta de lácteos “Paraíso”, por lo que se debe cumplir la normativa ambiental vigente para la descarga de aguas residuales hacia la red de alcantarillado del TULSMA.

La descarga del agua residual después de pasar por el sistema tratamiento propuesto en este trabajo se dirige hacia el pozo de recolección de aguas residuales perteneciente al sistema de alcantarillado público del cantón Salcedo.

2.4. Propuesta

2.4.1. Diagrama del sistema de tratamiento de agua residual de Lácteos Paraíso

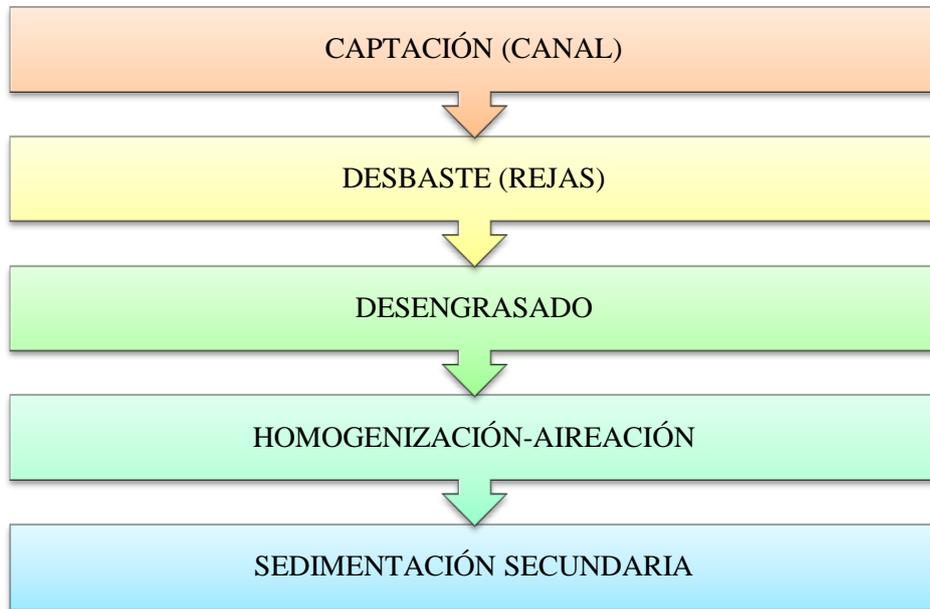


Figura 20-2 Diagrama del sistema de tratamiento

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento

3.1.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño se considera de 1,932 m³/h.

3.1.2 Dimensionamiento del canal

Se debe preferir un canal recto y perpendicular a la reja para conseguir una distribución equitativa de los sólidos y para evitar la acumulación de los mismos.

➤ Radio hidráulico

Se toma de la Tabla 11-1 para canal rectangulares revestidos un ancho de 0,30 m y una altura efectiva o de agua de 0,30 m.

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

$$R_h = \frac{0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}}{0,3 \text{ m} + (2 \times 0,3 \text{ m})}$$

$$R_h = 0,10 \text{ m}$$

➤ Velocidad media del caudal de agua

De la Tabla 12-1 se escoge coeficiente de rugosidad Manning, $n = 0,013$ para paredes de hormigón y pendiente longitudinal, $S' = 0,02\%$ para canal rectangular revestido de hormigón.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S'^{1/2}$$

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

$$v = 0,234 \text{ m/s}$$

- Área de la sección transversal mojada

Por ecuación de continuidad se tiene:

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

$$A = \frac{1,932 \text{ m}^3/h (1h/3600s)}{0,234 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,002 \text{ m}^2$$

- Altura efectiva

Se sabe que para dimensiones óptimas de un canal se tiene que $b = 2h$

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

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

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

$$h = \sqrt{\frac{0,002 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h = 0,032 \text{ m}$$

- Altura del canal

Según referencias para el diseño de un canal de entrada el borde libre (Tabla 10-1) es de 0,3 m para el caudal de diseño.

$$H = h + h_s$$

$$H = 0,032 \text{ m} + 0,30 \text{ m}$$

$$H = 0,332 \text{ m}$$

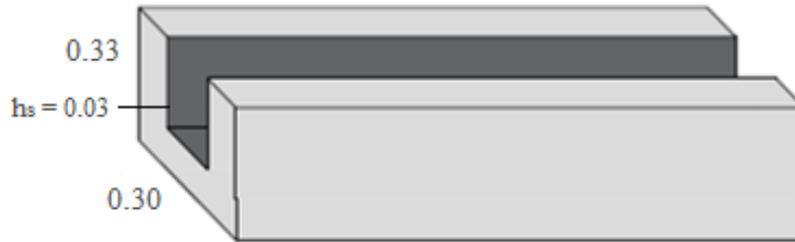


Figura 21-3 Canal

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.1.3 Dimensionamiento de rejas de barras

Para evitar la acumulación de residuos entre los períodos de limpieza de la reja se recomienda limitar la velocidad de aproximación 0,45 m/s a caudal medio. (Metcalf & Eddy, 1995)

- Sumatoria de las separaciones entre barras

De acuerdo a la Tabla 13-1 en la separación entre barras se considera el valor 37,5 mm y para la anchura de las barras se escoge 10 mm.

$$b_g = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e$$

$$b_g = \left(\frac{300 \text{ mm} - 37,5 \text{ mm}}{10 \text{ mm} + 37,5 \text{ mm}} + 1 \right) 37,5 \text{ mm}$$

$$b_g = 244,74 \text{ mm}$$

$$b_g = 0,245 \text{ m}$$

- Número de barras

$$n' = \frac{b_g}{e} - 1$$

$$n' = \frac{244,74 \text{ mm}}{37,5 \text{ mm}} - 1$$

$$n' = 5,53$$

$$n' \approx 5 \text{ barras}$$

- Longitud de las barras

El valor de la pendiente en relación a la vertical, $\theta = 30$ se toma de la Tabla 13-1.

$$l_b = \frac{H}{\text{sen } \theta}$$

$$l_b = \frac{0,332 \text{ m}}{\text{sen } 30}$$

$$l_b = 0,664 \text{ m}$$

- Área de espacios entre barras

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

$$A_{eb} = 0,245 \text{ m} \times 0,664 \text{ m}$$

$$A_{eb} = 0,163 \text{ m}^2$$

- Velocidad a través de la reja

$$V = Q/A_{eb}$$

$$V = \frac{1,932 \text{ m}^3/h (1h/3600s)}{0,129 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,0042 \text{ m/s}$$

- Pérdidas de carga a través de una reja

Existen pérdidas hidráulicas en el uso de rejillas, aquellas que se encuentran en función de la velocidad de aproximación del fluido, en este caso 0,3 m/s y de la velocidad del flujo a través de las barras. El coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de sólidos es $k = \frac{1}{0,7}$.

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

$$h_l = \frac{1}{0,7} \left(\frac{[0,081 \text{ m/s}]^2 - [0,3 \text{ m/s}]^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_l = 0,006 \text{ m}$$

Este resultado no sobrepasa el parámetro de 150 mm para pérdida de carga permisible estipulado en la Tabla 13-1. Esto nos indica que las rejillas deben ser limpiadas periódicamente para evitar la reducción de la velocidad del flujo del agua por la presencia de acumulación de sólidos.



Figura 22-3 Rejas de barras

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.1.4 Dimensionamiento de trampa de grasa simple

Estas unidades se diseñan en función de la velocidad de flujo o el tiempo de retención hidráulica. El caudal de diseño es de 1,932 m³/h o 0,537 l/s.

En concordancia a la Tabla 14-1 se tiene que:

Rango de caudales (l/s)	Volumen de trampa de grasa (m ³)	Dimensiones estimadas (m)		
		Profundidad	Ancho	Largo
0-1	1,8	1,0	1,0	1,8

El tiempo de retención en la trampa de grasa se determina de la siguiente manera:

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

$$Tr_T = \frac{1,8 \text{ m}^3}{1,932 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$Tr = 0,93 \text{ h}$$

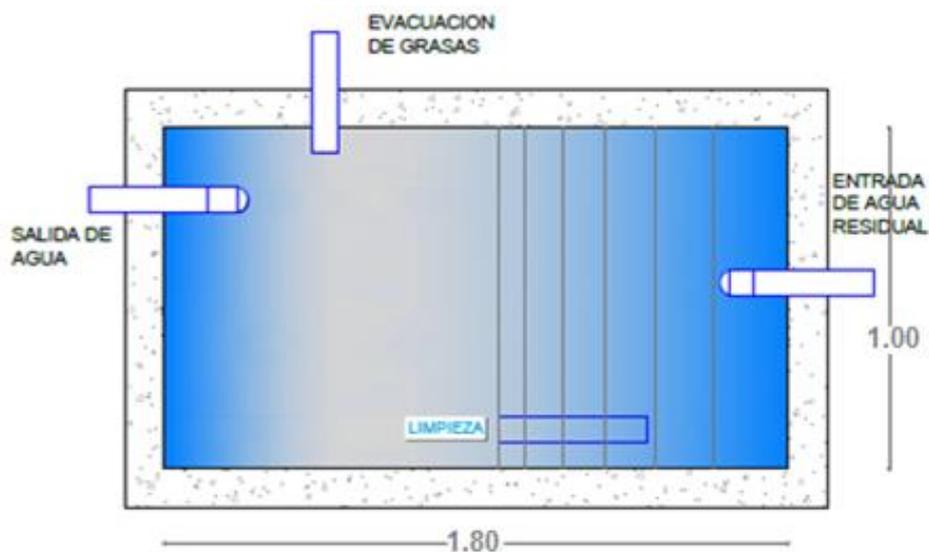


Figura 23-3 Trampa de grasa

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.1.5 Dimensionamiento del tanque de aireación o reactor

El reactor de mezcla completa es el más conveniente en un sistema de lodos activados puesto que suministra la cantidad adecuada de oxígeno y puede soportar cargas de choque producidas por vertidos puntuales con elevado contenido de materia orgánica.

La concentración de DBO_5 en el afluente obtenida experimentalmente utilizada para el diseño del sistema de los lodos activados se presenta a continuación:

DBO_5 : 3685 mg/l.

La concentración obtenida de sólidos suspendidos en el efluente experimentalmente es:

Sólidos suspendidos: 42 mg/l.

La relación SSLM/SSVLM es 1. Además se considera que el 65% de los sólidos suspendidos es biodegradable y para el factor de conversión de DBO_5 en DBO_L se considera entre 0,45-0,68; escogiendo 0,45. (Metcalf & Eddy, 1995)

➤ Dimensiones del tanque de aireación

Cálculo de la concentración de DBO soluble en el efluente:

$$DBO_{5 \text{ del efluente}} = DBO_{\text{soluble no degradado}} + DBO_{\text{sólidos suspendidos del efluente}}$$

De lo anterior se tiene:

$$DBO_{\text{soluble no degradado}} = DBO_{5 \text{ del efluente}} - DBO_{\text{sólidos suspendidos del efluente}}$$

$$DBO_{\text{sólidos suspendidos del efluente}} = 0,65 \times SS \times 1,42 \frac{\text{mg } O_2 \text{ consumidos}}{\text{mg células oxidadas}} \times 0,45$$

$$DBO_{\text{sólidos suspendidos del efluente}} = (0,65)(42 \text{ mg/l}) \times 1,42 \times 0,45$$

$$DBO_{\text{sólidos suspendidos del efluente}} = 17,44 \text{ mg/l}$$

Así se tiene:

$$DBO_{\text{soluble no degradado}} = 116 \text{ mg/l} - 17,44 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{\text{soluble no degradado}} = 98,56 \text{ mg/l}$$

Los valores estimados de los parámetros cinéticos para vertidos lácteos se muestran en la Tabla 15-1, en donde el coeficiente de producción celular $Y = 0,449 \text{ mg SSV/mg DQO}$ y el coeficiente de degradación endógena $k_d = 0,0017 \text{ d}^{-1}$.

En concordancia a la Tabla 16-1:

<i>Modificación del proceso</i>	θ_c, d	<i>F/M</i> Kg DBO ₅ aplicada/kg SSVLMd	<i>Carga</i> 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	2500-4000	3-5	0,25-1,0

Volumen del reactor

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

$$V_{TA} = \frac{(5 d) (0,449) (3,685 - 0,09856) \text{ kg/m}^3 (1,932 \text{ m}^3/\text{h}) (24 \text{ h}/1 d)}{4 \text{ kg/m}^3 [1 + (0,0017 \text{ d}^{-1})(5d)]}$$

$$V_{TA} = 92,55 \text{ m}^3$$

Altura del tanque

Se toma según Metcalf & Eddy la profundidad del agua en el tanque de 4,6 m.

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

Profundidad del tanque

La relación anchura/profundidad de los tanques varía de 1:1 a 2,2:1, siendo la más frecuente 1,5:1; por lo que

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

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

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

$$P_{TA} = \sqrt{\frac{92,55 \text{ m}^3}{4,60 \text{ m} \times 1,5}}$$

$$P_{TA} = 3,66 \text{ m}$$

Ancho del tanque:

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

$$a = 1,5 (3,75 \text{ m})$$

$$a = 5,49 \text{ m}$$

➤ Criterios de carga

El tiempo de retención hidráulica en el tanque es

$$\begin{aligned}\theta &= V_{TA}/Q \\ \theta &= \frac{92,55 \text{ m}^3}{1,932 \text{ m}^3/\text{h}} \\ \theta &= 47,90 \text{ h}\end{aligned}$$

La relación alimento/microorganismo es

$$\begin{aligned}\frac{F}{M} &= \frac{S_o}{\theta X} \\ \frac{F}{M} &= \frac{3,685 \text{ kg/m}^3}{47,90 \text{ h} (4 \text{ kg/m}^3)} \\ \frac{F}{M} &= 0,019 \text{ h}^{-1} \\ \frac{F}{M} &= 0,46 \text{ d}^{-1}\end{aligned}$$

➤ Producción de lodo activado

La producción observada

$$\begin{aligned}Y_{obs} &= \frac{Y}{1 + K_d (\theta_c)} \\ Y_{obs} &= \frac{0,449}{1 + (0,0017 \text{ d}^{-1}) (5 \text{ d})} \\ Y_{obs} &= 0,445 \frac{\text{Kg célula producida}}{\text{kg MO}}\end{aligned}$$

La producción diaria neta de lodo

$$\begin{aligned}P_x &= Y_{obs} Q(S_o - S) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \\ P_x &= (0,445)(46,368 \text{ m}^3/\text{d})(3685 - 98,56) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \\ P_x &= 74,0 \text{ kg/d}\end{aligned}$$

- Purga desde el tanque de aireación

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

$$Q_w = \frac{92,55 \text{ m}^3}{5 \text{ d}}$$

$$Q_w = 18,51 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Caudal de recirculación

El valor de la tasa de recirculación es de 0,25 a 1,0 tomado de la Tabla 9-1. Se considera el valor de 0,25.

$$\text{Tasa de recirculación} = \frac{Q_r}{Q} = 0,625$$

$$Q_r = 0,25 \times Q$$

$$Q_r = 0,25 \times (46,368 \text{ m}^3/\text{d})$$

$$Q_r = 11,60 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Necesidad y transferencia de oxígeno

La demanda teórica de oxígeno para la eliminación de la materia orgánica carbonosa se determina así:

$$\text{kg } \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_o - S) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1,42 P_x$$

$$\text{kg } \frac{O_2}{d} = \frac{(46,368 \text{ m}^3/\text{d})(3685 - 98,56) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{0,68} - 1,42 (74,0 \text{ kg/d})$$

$$\text{kg } \frac{O_2}{d} = 139,47$$

Caudal de aire teórico:

$$\text{Caudal}_{\text{aire teórico}} = \frac{\text{kg } O_2}{d} \times \frac{1}{\rho_{\text{aire}} \times F_{O_2}}$$

$$\text{Caudal}_{\text{aire teórico}} = \frac{139,47 \frac{\text{kg } O_2}{d}}{\left(1210 \frac{\text{kg aire}}{\text{m}^3}\right) \left(0,232 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg aire}}\right)}$$

$$\text{Caudal}_{\text{aire teórico}} = 0,50 \text{ m}^3/\text{d}$$

Caudal de aire real:

Se supone una eficiencia de transferencia de oxígeno en los equipos de aireación del 8%.

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{Caudal_{aire\ teórico}}{e}$$

$$Caudal_{aire\ real} = \frac{0,50\ m^3/d}{0,08}$$

$$Caudal_{aire\ real} = 6,25\ m^3/d$$

Demanda de aire:

Para dimensionamiento de soplantes es recomendable adoptar un factor de seguridad de 2,0.

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

$$Demanda_{aire\ real} = (6,25\ m^3/d) (1\ d/1440\ min) (2,0)$$

$$Demanda_{aire\ real} = 0,009\ m^3/min$$

➤ Potencia necesaria para cada soplante

Según Metcalf & Eddy para capacidades inferiores a 85 m³/min, en este se calculó una demanda de aire de 0,02 m³/min, entonces se suele utilizar soplantes rotativas de desplazamiento positivo. En compresores la eficiencia, *e*, está normalmente entre 0,70 y 0,90; se toma 0,80 el valor medio para el diseño.

Se diseña para sistemas de aireación a través de soplantes con difusores sumergidos en el agua residual.

$$P_w = \frac{w R T_1}{29,7 n e} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = \frac{(0,009 \frac{m^3}{min}) (1210 \frac{Kg\ aire}{m^3}) (\frac{1\ min}{60\ s}) (8,314 \frac{kg}{kmol \cdot K}) (287^\circ K)}{29,7 (0,283) (0,8)} \left[\left(\frac{1,42\ atm}{1\ atm} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = 6,72\ KW$$

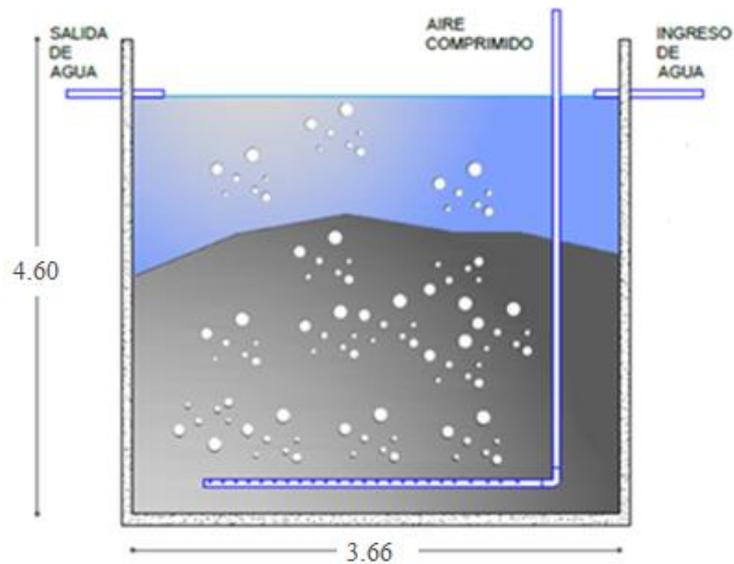


Figura 24-3 Tanque de aireación

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.1.6 Dimensionamiento del tanque de sedimentación secundario

➤ Área del tanque de sedimentación

La carga de superficie para decantadores secundarios después del proceso de lodos activados se toma de la Tabla 18-1.

$$A_{TS} = \frac{Q}{C_s}$$

$$A_{TS} = \frac{1.932 \text{ m}^3/\text{h}}{1,695 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$A_{TS} = 1,14 \text{ m}^2$$

➤ Radio del tanque de sedimentación

El radio del tanque circular de sedimentación se determina por la siguiente relación:

$$A_{TS} = \pi \times r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A_{TS}}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,14 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,60 \text{ m}$$

- El diámetro del tanque de sedimentación

$$\phi = 2 \times r$$

$$\phi = 2 \times 0,60 \text{ m}$$

$$\phi = 1,20 \text{ m}$$

En la tabla 19-1 se especifica que para el diseño de sedimentadores circulares secundarios su diámetro mínimo debe ser de 3 m según Crites & Tchobanoglous; por lo tanto este valor será considerado. Siendo entonces: $\phi = 3,0 \text{ m}$ y $r = 1,5 \text{ m}$.

- Reparto central en el tanque de sedimentación

$$R_c = 0,25 \times \phi$$

$$R_c = 0,25 (3,0 \text{ m})$$

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

- El volumen del tanque de sedimentación

La profundidad del tanque se toma de acuerdo a los criterios de Metcalf & Eddy en Tabla 18-1 y de Crites & Tchobanoglous en la Tabla 19-1.

$$V_{TS} = A_{TS} \times h_{TS}$$

$$V_{TS} = 1,14 \text{ m}^2 (5 \text{ m})$$

$$V_{TS} = 5,70 \text{ m}^3$$

- El tiempo de retención teórico

$$Tr_{TS} = \frac{V_{TS}}{Q}$$

$$Tr_{TS} = \frac{5,70 \text{ m}^3}{1,932 \text{ m}^3/h}$$

$$Tr_{TS} = 2,95 \text{ h}$$

- Altura de reparto

$$H_R = \frac{1}{4} \times h_{TS}$$

$$H_R = \frac{1}{4} (5 \text{ m})$$

$$H_R = 1,25 \text{ m}$$

- Carga sobre vertedero de salida

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

$$C_v = \frac{46,368 \text{ m}^3/d}{\pi (3 \text{ m})}$$

$$C_v = 4,92 \text{ m}^3/m.d$$

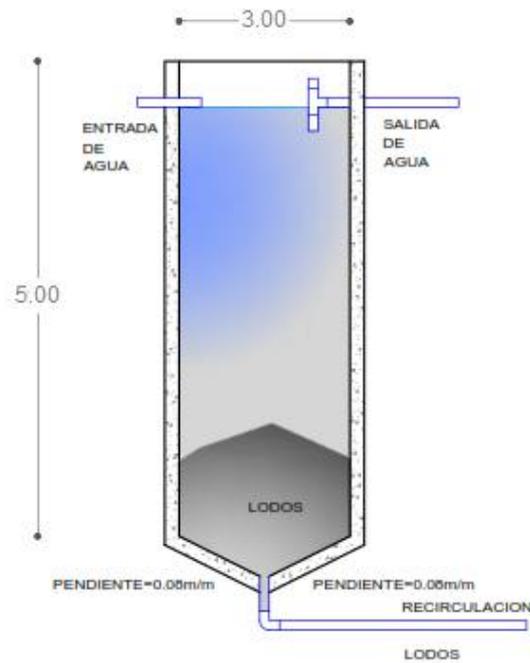


Figura 25-3 Sedimentador secundario

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.1.7 Dimensionamiento de eras de secado

- La carga de sólidos suspendidos perdidos en el efluente

$$C = Q \times SS$$

$$C = \left(46,368 \frac{\text{m}^3}{d}\right) \times \left(42 \frac{\text{mg}}{l}\right) \times \frac{1 \times 10^3 l}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$

$$C = 1,95 \frac{\text{kg}}{d}$$

- Masa de lodo de desecho

$$M_{Ld} = P_x - C$$

$$M_{Ld} = 74,0 \frac{kg}{d} - 1,95 \frac{kg}{d}$$

$$M_{Ld} = 72,05 \frac{kg}{d}$$

- Volumen de lodos digeridos diariamente

De las Tablas 20-1 y 21-1 se toman los valores para la densidad del fango. Los sólidos presentes en el lodo obtenido del proceso de fangos activados tienen como valor típico 0,083 de la tabla 21-1.

$$V_{Ld} = \frac{M_{Ld}}{\delta_L \times (S_L)}$$

$$V_{Ld} = \frac{72,05 \frac{kg}{d}}{1005 \frac{kg}{m^3} \times (0,083)}$$

$$V_{Ld} = 0,86 \frac{m^3}{d}$$

- Volumen de lodos a extraerse

Se toma el valor de 15 días según referencia de Metcalf & Eddy para un fango de humedad de 60 por 100 que puede ser paleable.

$$V_{Le} = V_{Ld} \times TdL$$

$$V_{Le} = \left(0,86 \frac{m^3}{d} \right) \times (15 d)$$

$$V_{Le} = 12,90 m^3$$

- Área de eras de secado

Se considera que para la profundidad de aplicación del lodo no puede ser mayor de 2 m según estipulación de CEPIS-OPS/OMS. Se tomará el valor de 0,6 m (tabla 22-1) para era de secado de lodo típica como la mostrada en la Figura 10-1 de Metcalf & Eddy.

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

$$A_{ES} = \frac{12,90 m^3}{0,6 m}$$

$$A_{ES} = 21,50 m^2$$

- Área particular de cada era de secado

De la tabla 22-1 se toma para el ancho 3 m y se asume el valor de la longitud.

$$A_{iES} = l_{ES} \times b_{ES}$$
$$A_{iES} = (4 \text{ m}) \times (3 \text{ m})$$
$$A_{iES} = 12 \text{ m}^2$$

- Número de eras de secado

$$N_{ES} = \frac{A_{ES}}{A_{iES}}$$
$$N_{ES} = \frac{21,50 \text{ m}^2}{12 \text{ m}^2} = 1,79 \cong 2$$

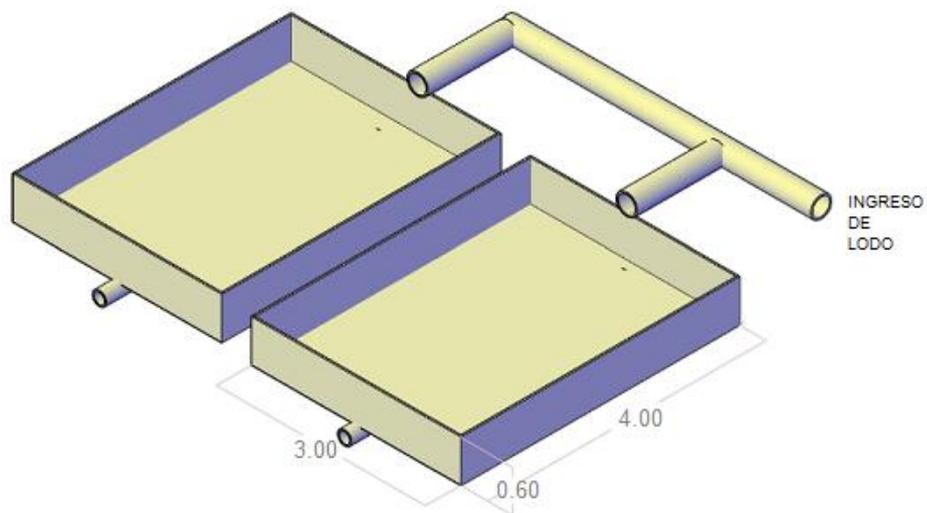


Figura 26-3 Eras de secado

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2 Resultados

3.2.1 Resultados de medición del caudal

A continuación se expone el caudal promedio diario medido durante una semana en la planta de lácteos Paraíso, desde las 6:00 a las 17:00.

Tabla 28-3 Resultados de caudal promedio diario

Día	Caudal (m ³ /h)
Lunes	2,152
Martes	1,932
Miércoles	2,054
Jueves	2,487
Viernes	2,455
Sábado	2,364
Domingo	2,362

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Los valores de caudal promedio durante toda la semana son similares debido a que la planta de lácteos opera todos los días. La siguiente figura muestra la variación del caudal durante una semana en “Lácteos Paraíso”.

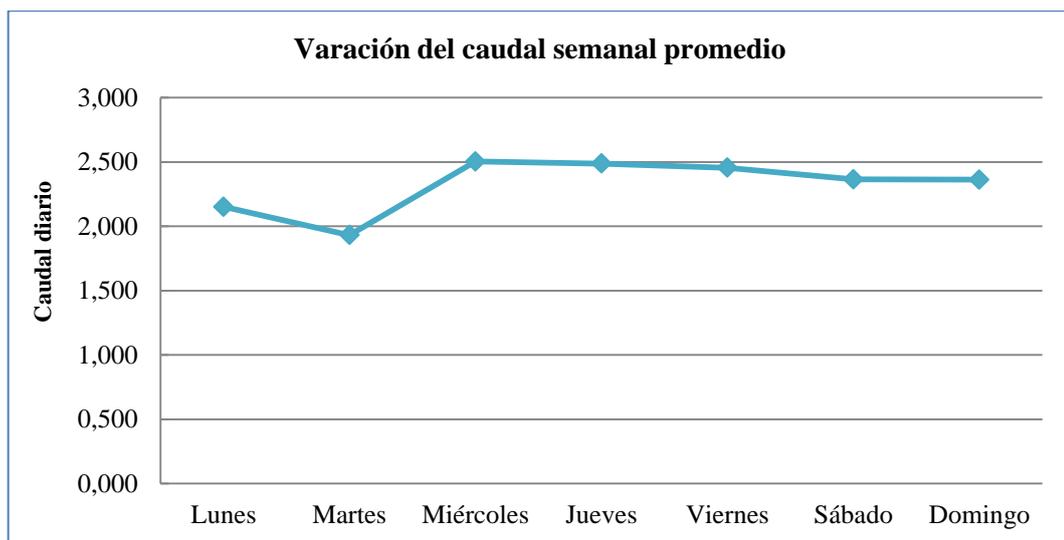


Figura 27-3 Variación de caudal promedio en una semana

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2.2 Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento

3.2.2.1 Resultados del dimensionamiento del canal

Tabla 29-3 Resultados del dimensionamiento del canal

Parámetro	Unidad	Valor
Altura del canal	m	0,33
Altura efectiva	m	0,03
Ancho del canal	m	0,30
Radio hidráulico	m	0,10

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2.2.2 Resultados del dimensionamiento de rejas

Tabla 30-3 Resultados del dimensionamiento de rejas

Parámetro	Unidad	Valor
Espesor de barras	m	0,010
Longitud de barras	m	0,664
Numero de barras	unidad	5
Separación entre barras	m	0,038
Sumatoria de separaciones entre rejas	m	0,245

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2.2.3 Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa

Tabla 31-3 Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho	m	1,00
Largo	m	1,80
Profundidad	m	1,00
Tiempo de retención	h	0,93
Volumen de la trampa	m ³	1,80

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2.2.4 Resultados del dimensionamiento de lodos activados

Tabla 32-3 Resultados del tanque de aireación

Parámetro	Unidad	Valor
Altura del tanque	M	4,60
Ancho del tanque	M	5,49
Producción de lodo activado	kg/d	74,00
Profundidad del tanque	M	3,66
Tiempo de retención hidráulica	H	47,90
Volumen del tanque	m ³	92,55

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Tabla 33-3 Resultados de los equipos de aireación

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de aire teórico	m ³ /d	0,50
Caudal de aire real	m ³ /d	6,25
Demanda de aire	m ³ /min	0,009
Potencia para cada soplante	KW	6,72

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Tabla 34-3 Resultados del tanque de sedimentación secundario circular

Parámetro	Unidad	Valor
Altura de reparto del tanque	M	1,25
Área del tanque	m ²	1,14
Diámetro del tanque	M	3,00
Pendiente del fondo del tanque	m/m	0,08
Profundidad del tanque	M	5,00
Radio del tanque	M	1,50
Reparto central del tanque	M	0,75
Tiempo de retención	H	2,95
Volumen del tanque	m ³	5,70

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2.2.5 Resultados del dimensionamiento para disposición de lodos

Tabla 35-3 Resultados de eras de secado

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho de era de secado	m	3,00
Área total de eras de secado	m ²	21,50
Área particular de era de secado	m ²	12,00
Longitud de era de secado	m	4,00
Número de eras de secado	unidad	2
Profundidad de aplicación	m	1,00

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.2.3 Resultados de la caracterización del agua residual tratada

Los resultados de la caracterización del agua residual obtenida después de la degradación biológica se muestran a continuación:

Tabla 36-3 Resultados del agua residual tratada

Parámetros	Unidad	Análisis		Valores Promedio	*Límite permisible TULSMA
		1	2		
Potencial de hidrógeno	-	8,19	8,05	8,12	5-9
Conductividad eléctrica	μS/cm	850	983	916,5	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	176	196	186	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	97	135	116	250
Sólidos Suspendidos	mg/l	60	23	41,5	220
Sólidos totales	mg/l	754	754	754	1600
Aceite y grasas	mg/l	19,8	19,8	19,8	100
Fósforo Total	mg/l	1,82	1,82	1,82	15
Nitrógeno Total	mg/l	12,2	12,2	12,2	40

*Tabla 11 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado público del TULSMA

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

Tabla 37-3 Comparación de parámetros del agua residual inicial y agua residual tratada

Parámetros	Unidad	Agua residual cruda	Agua residual tratada	*Límite permisible TULSMA
Potencial de hidrógeno	-	5,47	8,12	5-9
Conductividad eléctrica	μS/cm	1648	916,5	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5584	186	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	3685	116	250
Sólidos Suspendidos	mg/l	692	41,5	220
Sólidos totales	mg/l	1868	754	1600
Aceite y grasas	mg/l	345	19,8	100
Fósforo Total	mg/l	28,01	1,82	15
Nitrógeno Total	mg/l	128,62	12,2	40

*Tabla 11 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado público del TULSMA

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.3 Porcentaje de remoción después de la degradación biológica (aireación)

Mediante la siguiente ecuación se demuestra el porcentaje de remoción de la carga contaminante después del proceso de degradación biológica en el efluente proveniente Lácteos Paraíso.

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

Ecuación 45

En donde:

E_r : Porcentaje de remoción del proceso, %.

S_o : Parámetro de entrada, mg/l.

S : Parámetro de salida, mg/l.

A continuación se presenta los resultados de la remoción de materia contaminante de la última muestra de agua residual:

Tabla 38-3 Remoción de carga contaminante en la degradación biológica

Parámetros	Unidades	Valor de entrada	Valor de salida	% Remoción
Demanda química de oxígeno	mg/l	5584	186	96,67
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	mg/l	3685	116	96,85
Sólidos suspendidos	mg/l	692	41,5	94,00
Sólidos totales	mg/l	1868	754	59,64
Aceite y grasas	mg/l	345	19,8	94,26
Fósforo Total	mg/l	28,01	1,82	93,50
Nitrógeno Total	mg/l	128,62	12,2	90,51

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.3.1 Remoción de DQO y DBO

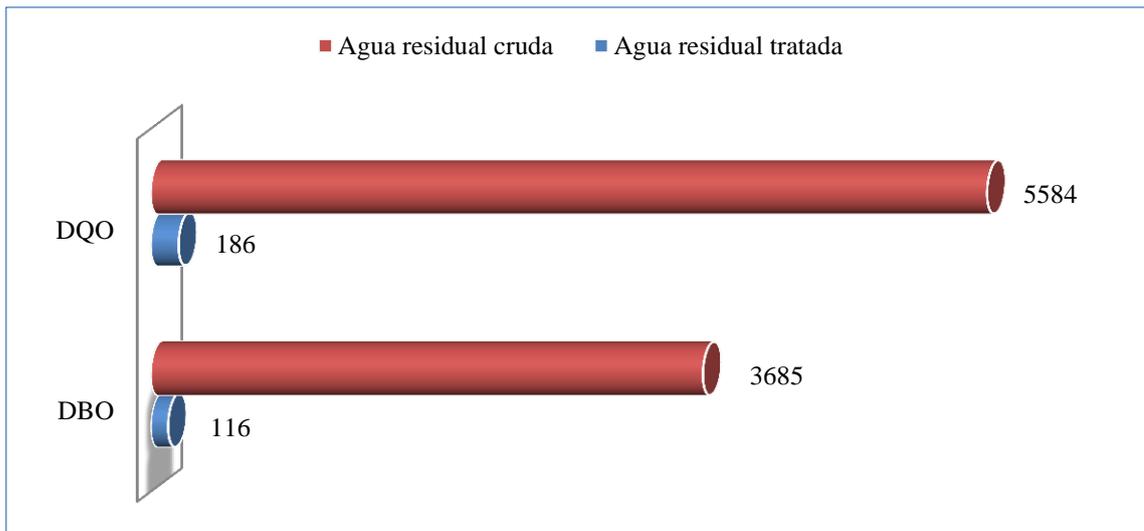


Figura 28-3 Remoción de DQO y DBO

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.3.2 Remoción de sólidos suspendidos y sólidos totales

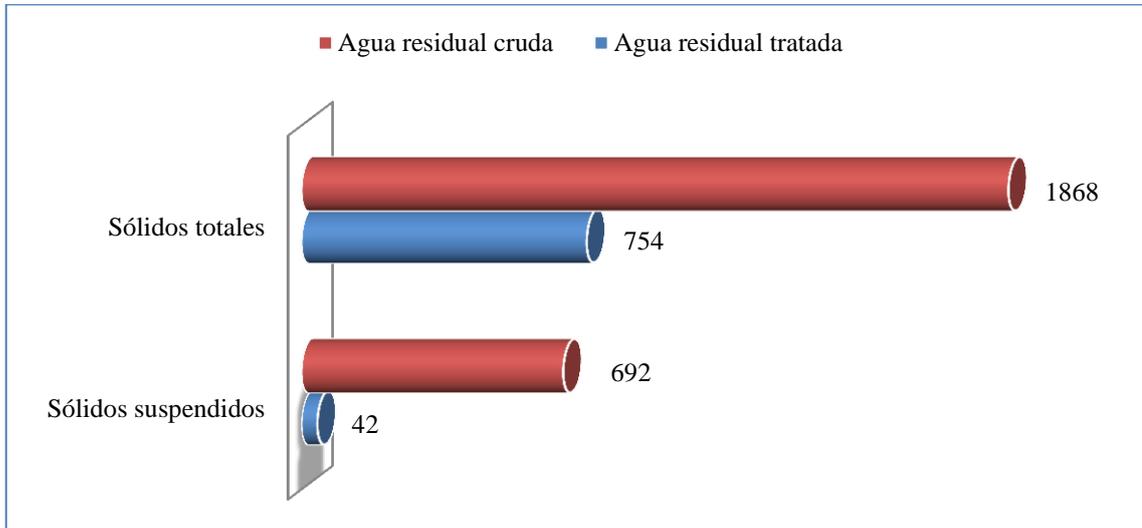


Figura 29-3 Remoción de sólidos suspendidos y sólidos totales

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.3.3 Remoción de aceites y grasas, fósforo total y nitrógeno total

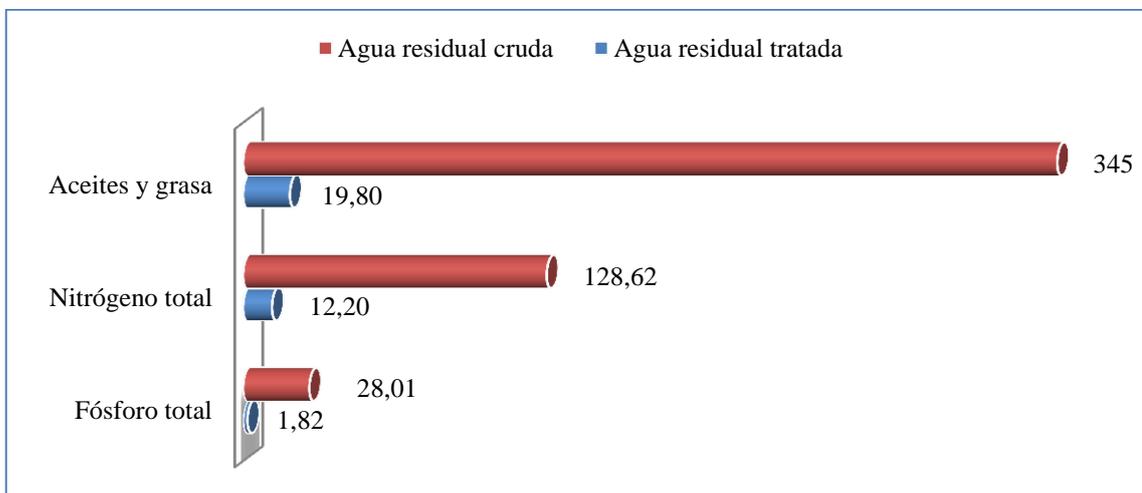


Figura 30-3 Remoción aceites y grasas, fósforo total y nitrógeno total

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

3.4 Análisis de la propuesta

Los efluentes de agua residual proveniente de la planta de lácteos Paraíso poseen en composición una alta carga de contaminantes orgánicos debido a las operaciones que se realizan dentro de una industria láctea. Los vertidos analizados son aquellos procedentes de las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones y de la producción misma dentro de la planta; las aguas de refrigeración son recirculadas y recogidas para su disposición final.

Los elevados valores de los parámetros de DBO₅, DQO, turbiedad y aceites y grasas presentados en la tabla 27-2, son consecuencia de la presencia de materia orgánica de la leche. Además el valor alto de pH básico se debe a la utilización de sustancias de limpieza como disoluciones de ácido nítrico, sosa cáustica y peróxido. La conductividad del agua residual es elevada resultado de la elaboración de los quesos puesto que se utiliza cloruro de sodio en la etapa de salado.

La legislación ambiental ecuatoriana obliga a la planta de lácteos Paraíso a tratar sus vertidos antes de su correspondiente descarga hacia la red del sistema de alcantarillado, mediante el cumplimiento de las estipulaciones establecidas en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua del TULSMA. Por lo tanto, el agua residual proveniente de las líneas de producción de la planta ingresará a una planta de tratamiento que estará conformada por un pre-tratamiento de un sistema de rejillas y una trampa de grasa simple para la retención y remoción de las partículas sólidas, sustancias de naturaleza grasa y material flotante más ligero que el agua.

A continuación el agua se dirige a un proceso de lodos activados formado por un tanque de aireación de 92,55 m³ de capacidad provisto de difusores para la remoción del 96,85% de la carga orgánica mediante la degradación biológica de las aguas residuales. Así también los sólidos suspendidos podrán ser removidos un 94% dentro del tanque. El proceso conlleva un tanque de sedimentación secundario circular de 5,70 m³ de capacidad necesario para la separación de los sólidos (lodo) y la recirculación de los mismos al tanque de aireación.

La distribución para la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las líneas de la producción de “Lácteos Salcedo” será por gravedad, teniéndose un tipo de terreno ondulado y un área disponible de 250 m² de longitudes de 12m x25 m.

3.5 Presupuesto

3.5.1 Inversión

El presupuesto necesario para la construcción de cada uno de los equipos que conformarán el sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de las líneas de producción de la planta de lácteos Paraíso ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi, se describe a continuación:

Tabla 39-3 Presupuesto para la planta de tratamiento de agua residual

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
	SISTEMA GENERAL				
	CANAL				
1	ACERO DE REFUERZO f' y= 4200 kg/cm ²	kg	10,00	2,10	21,00
2	HORMIGON S. f' c=210 kg/cm ² EN MUROS INC. ENCOFRADO	m ³	0,13	175,13	22,77
3	MALLA ELECTROSOLDADA 10x10x6 mm	m ²	1,20	15,00	18,00
4	ENLUCIDO CON IMPERMEABILIZANTE MORTERO 1:3	m ²	2,80	9,25	25,90
	<i>Subtotal</i>				87,67
	REJILLAS				
5	REJILLAS METALICAS	unidad	1,00	35,00	35,00
	<i>Subtotal</i>				35,00
	TRAMPA DE GRASA				
6	EXCAVACION MANUAL SUELO NATURAL H=0-2m	m ³	1,10	8,10	8,91
7	ACERO DE REFUERZO f' y= 4200 kg/cm ²	kg	84,00	2,10	176,40
8	HORMIGON S. f' c=210 kg/cm ² EN MUROS INC. ENCOFRADO	m ³	2,11	175,13	369,52
9	ENLUCIDO CON IMPERMEABILIZANTE MORTERO 1:3	m ²	22,50	9,25	208,13
10	TUBERIA PVC D=110 MM 1.00MPA E/C + PRUEBA+VALVULA	ml	18,00	4,45	80,10
	<i>Subtotal</i>				843,06
	TANQUE DE AIREACIÓN				
11	EXCAVACION MANUAL SUELO NATURAL H=0-2m	m ³	19,70	8,10	159,57
12	ACERO DE REFUERZO f' y= 4200 kg/cm ²	kg	1.500,00	2,10	3.150,00

13	HORMIGON S. f c=210 kg/cm ² EN MUROS INC. ENCOFRADO	m ³	32,00	175,13	5.604,16
14	ENLUCIDO CON IMPERMEABILIZANTE MORTERO 1:3	m ²	430,00	9,25	3.977,50
15	TUBERIA PVC D=110 mm 0.80 MPa E/C + PRUEBA	ml	22,00	3,25	71,50
	<i>Subtotal</i>				12.962,73
	SEDIMENTADOR SECUNDARIO				
16	EXCAVACION MANUAL SUELO NATURAL H=0- 2m	m ³	0,95	8,10	7,70
17	ACERO DE REFUERZO f y= 4200 kg/cm ²	kg	112,00	2,10	235,20
18	HORMIGON S. f c=210 kg/cm ² EN MUROS INC. ENCOFRADO	m ³	2,10	175,13	367,77
19	ENLUCIDO CON IMPERMEABILIZANTE MORTERO 1:3	m ²	31,00	9,25	286,75
20	TUBERIA PVC D=110 mm DESAGUE+VALVULA	ml	12,00	3,12	37,44
	<i>Subtotal</i>				934,86
				TOTAL:	14.863,32

Realizado por: Gabriela Barragán 2015

CONCLUSIONES

- Las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales provenientes de las líneas de producción de la planta de lácteos Paraíso se determinaron a través de la caracterización de las mismas, los resultados promedio de los parámetros analizados son: Demanda química de oxígeno 5584 mg/l, Demanda bioquímica de oxígeno 3865 mg/l, Aceites y grasas 345 mg/l, Fósforo total 28,01 mg/l, Nitrógeno total 128,62 mg/l, Sólidos suspendidos 692 mg/l; todos los valores antepuestos se encuentran fuera del límite establecido de la norma ambiental.
- En concordancia con los resultados de la caracterización se puede constatar que los parámetros de DQO y DBO₅ son valores altamente elevados debido a la gran carga orgánica del vertido y la relación entre ellos demuestra que el vertido es de naturaleza biodegradable, en consecuencia el agua puede ser tratada mediante un sistema biológico como el proceso de lodos activados. El diseño del tratamiento se establece de la siguiente manera: Rejas, Trampa de grasa, Tanque de aireación y Tanque de sedimentación secundario.
- Durante la realización de los cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de lácteos Paraíso se identificaron las variables de diseño más adecuadas, con respecto a las características de un efluente de naturaleza orgánica altamente biodegradable como es el agua residual industrial láctea, estas son: Caudal 1,932 m³/h, Demanda química de oxígeno 5584 mg/l, Demanda bioquímica de oxígeno 3685 mg/l, Aceites y grasas 345 mg/l, Sólidos suspendidos 692 mg/l.
- El diseño establecido para el sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de las líneas de producción de la planta fue validado mediante los resultados de los parámetros utilizados en el diseño del sistema de lodos activados: Demanda química de oxígeno 186 mg/l, Demanda bioquímica de oxígeno 116 mg/l, Aceites y grasas 19,8 mg/l, Fósforo total 1,82 mg/l, Nitrógeno total 12,2 mg/l, Sólidos suspendidos 41,5 mg/l y Sólidos totales 754 mg/l. Los valores obtenidos si se encuentran dentro de los límites permisibles de la normativa para la descarga de efluentes en la red de alcantarillado público.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la recirculación de lodos hacia el tanque de aireación permite el consumo acelerado del sustrato que necesita ser removido del agua residual, esto se debe a que los microorganismos recirculados ya se encuentran en su etapa de madurez y bien adaptados para una adecuada degradación biológica.
- La fracción de lodos que no es recirculada en el sistema biológico de lodos activados pueden dispuesto en eras de secado para su respectiva deshidratación y luego utilizados en la fertilización de los suelos.
- Es recomendable la limpieza periódica de los diferentes equipos que conforman el sistema de tratamiento para evitar los depósitos de partículas que pueden provocar el taponamiento de tuberías y equipos, especialmente la limpieza de las rejillas y la eliminación del material grasoso retenido en la trampa de grasa.
- La superficie del agua en el sedimentador puede contener sólidos flotantes, grasas, natas y espumas que deben ser removidas con la ayuda de mallas finas sujetadas al extremo de un madero largo.
- La acumulación de material grasoso en las paredes de la trampa de grasa, el tanque de aireación y el sedimentador secundario pueden ser removidas semanalmente utilizándose un raspador tipo escobilla.
- En el caso de que aumente el valor de la relación de DQO/DBO₅ el diseño utilizando sistema biológico para el sistema de tratamiento propuesto seguirá siendo válido puesto que la degradación biológica es realizada por los mismos microorganismos.

BIBLIOGRAFÍA

Cárdenas, Carmen; et al. “Determination of kinetic constants for the design of biological treatment dairy effluent in batch system”. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* [en línea], 2014, (Venezuela), 37(1.11-19), pp. 11-19. [Consulta: 30 mayo 2015]. ISSN 0254-0770. Disponible en: <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/viewFile/6940/6929>

Centro de la industria láctea del Ecuador [en línea]. Ecuador: CIL, 2012. [Consulta: 6 noviembre 2014]. Disponible en: http://www.cilecuador.org/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=3

Cerro Carpio, Miguel. *Composición cualitativa de las aguas residuales* [en línea]. [Consulta: 6 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>

Cisterna, Pedro; & Peña, Daisy. *Determinación de la relación DQO/DBO₅ en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región* [en línea]. [Consulta: 2 junio 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

Crites, R. *Tratamiento Preliminar de Aguas Residuales: Operaciones y Procesos.* Bogotá-Colombia: McGraw-Hill, 2000, pp. 242-280.

Domènech, Xavier; & Peral Pérez, José. *Química ambiental de sistemas terrestres* [en línea]. Madrid, España: Reverté, 2006. [Consulta: 27 junio 2015]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=S4bjFOEXRzMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Hammeken, A., & Romero, G. *Análisis y Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Municipio de San Andrés Cholupa* (tesis de pregrado). Universidad de Las Américas, México. 2005. pp. 34-37.

Revista El Agro. *Industria láctea importante eslabón en la producción pecuaria* [en línea]. Ecuador: Revista El Agro, 2013. [Consulta: 6 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.revistaelagro.com/2013/04/25/industria-lactea-importante-eslabon-en-la-produccion-pecuaria/>

Llanos, D. *Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria de Productos Lácteos “Píllaro” ubicada en el cantón Píllaro-Tungurahua* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 35-58.

Los peligros de la leche cruda: la leche sin pasteurizar puede representar un riesgo grave para la salud [en línea]. Estados Unidos: FDA, 2015. [Consulta: 6 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/ResourcesForYou/Consumers/ucm210577.htm>

Los vertidos del sector lácteo [en línea]. Sevilla: 2008. [Consulta: 6 noviembre 2014]. Disponible en: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48159/componente48157.pdf

Manual de depuración de aguas residuales urbanas [en línea]. Centroamérica: Ideasmares. [Consulta: 7 noviembre 2014]. Disponible en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 1995, pp. 507-577, 603-682, 865-992.

Mundoquesos [blog]. [Consulta: 7 julio 2015]. Disponible en: <http://www.mundoquesos.com/p/clasificacion-del-queso.htm>

Osorio, F. Torres, J. & Sánchez, M. *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Aplicaciones de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Madrid-España: Ediciones Díaz de Santos, 2010, pp. 1-3.

Parra, A. “Lactosuero: importancia en la industria de alimentos”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* [en línea], 2009, (Colombia) 62(1), pp. 4967-4977. [Consulta: 25 julio 2015]. ISSN 2248-7026. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>

Paguay, J. 2013. *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. 70-74.

Revilla, A. *Tecnología de la leche* [en línea]. San José-Costa Rica: IICA, 1982. [Consulta: 25 julio 2015]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=miAPAQAIAAJ&pg=PP8&dq=revilla+tecnologi%C3%A1+de+la+leche&hl=es-419&sa=X&ved=0CB8Q6AEwAWoVChMI-Ifs3MmDxwIVx9g-Ch0_dQgr#v=onepage&q=revilla%20tecnologi%C3%A1%20de%20la%20leche&f=false

Rodríguez, P. *Hidráulica de canales* [en línea]. 2008. [Consulta: 25 marzo 2015]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>

Rodríguez, Susana; et al. *Proyecto de investigación: la leche de vaca* [blog]. 2010. [Consulta: 7 noviembre 2014]. Disponible en: <http://blog.educastur.es/tecnologiasvegadeo/files/2010/12/la-leche.pdf>

Rojas, R. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS -OMS. Curso internacional: "Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales"*. Perú, 2002. pp. 19.

Romero, J. *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño.* 2^a ed. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. pp. 787-799.

Russell, D. *Tratamiento de Aguas residuales Un enfoque práctico.* Madrid-España: Reverté, 2012. pp. 60-73.

Sierra, C. *Calidad del agua Evaluación y Diagnóstico.* Medellín-Colombia: Universidad de Medellín, 2011. pp. 50- 51, 53-64, 69-81.

Tratamiento de los efluentes en la industria láctea [en línea]. Madrid-España: Logrezana, 2013. [Consulta: 7 noviembre 2014]. Disponible en: http://www.portalechero.com/innovaportal/file/3755/1/4_informacion_tecnica_efluentes_en_ind_lacteas_april_2013.pdf

TULSMA. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI*
Anexo I.

ANEXOS

Anexo A. Vista exterior de la planta de lácteos Paraíso.



Anexo B. Depósito de recolección de las aguas residuales de las líneas de producción.



Anexo C. Instalaciones para la elaboración de leche pasteurizada.



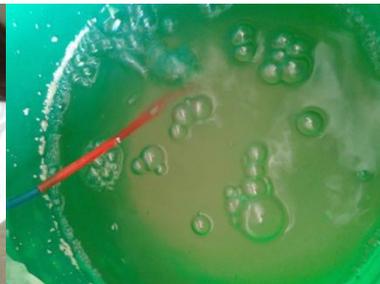
Anexo D. Instalaciones para la elaboración de yogur.



Anexo E. Instalaciones para la elaboración de queso fresco.



Anexo F. Pruebas para tratabilidad del agua residual.



Anexo G. Caracterización inicial del agua residual de la planta de lácteos Paraíso.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	--	--

INFORME DE ENSAYO No: 438
ST: 15 – 135 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: N.A
Atn. Gabriela Barragán
Dirección: Araceli Gilbert y Jose Veloz
Riobamba – Chimborazo

FECHA: 13 de Marzo del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/03/03 - 10:00
FECHA DE MUESTREO: 2015/03/02 - 07:30/17:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/03/03 - 2015/03/13
TIPO DE MUESTRA: Agua residual
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 259-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Muestra 1
PUNTO DE MUESTREO: Descarga de agua residual industrial

ANÁLISIS SOLICITADO: Físico Químico Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barragan
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	5,96	±0,10	5-9
Conductividad eléctrica	PEE/LABCESTTA/06 Standard Method No. 2510 B	uS/cm	2560	±5%	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	>1500	±5%	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3797	±15%	250
Aceites y Grasas	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	> 100	±1%	100
Fosforo total	PEE/LABCESTTA/ 21 Standard Methods No. 4500-P B5	mg/L	28,01	±14%	15
*Sólidos Sedimentables	PEE/LABCESTTA/56 Standard Methods No. 2540 F	ml/L	0,5	-	20
Sólidos Suspendidos	PEE/LABCESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	1032	±10%	220
Sólidos Totales	PEE/LABCESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	1486	±6%	1600
Nitrógeno Total	PEE/LABCESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	128,62	±6%	40

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 1 de 2
Edición 4



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



**LABORATORIO DE
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 06-008**

Coliformes Totales	PEE/LABCESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 ml	>1*10 ⁸	±20%	-
Coliformes Fecales	PEE/LABCESTTA/48 Standard Methods No. 9222 D y 92221	UFC/100 ml	1*10 ⁶	±20%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna marcada con (■) corresponde a límite máximo permitido indicado en la Tabla 11 del TULAS. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público. Solicitados por el cliente.
- Los parámetros marcados con * no están dentro del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
E INSPECCION
LAB - CESTTA
ESPOCH

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Gabriela Barragán

Fecha de Análisis: 10 de diciembre del 2014

Fecha de Entrega de Resultados: 16 de diciembre de 2014

Tipo de muestras: Agua Residual Industria Láctea

Localidad: Productos Lácteos Paraíso

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

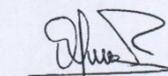
Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Color	Und Pt/Co			4390
pH	Und.	4500-B	5-9	9.96
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		1192
Turbiedad	UNT	2130-B		643
Alcalinidad	mg/L	2320-C		730
Cloruros	mg/L	4500-CI-B		436.8
Grasas y Aceites	mg/L	5520-B		345
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	24000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	6450
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	220	610
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C		512
Sólidos Totales	mg/L	2540-A		2632
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B		200

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



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

Anexo H. Caracterización final del agua residual tratada.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 062 – 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Gabriela Barragán **INFORME Nº:** 062 – 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 062 – 15
DIRECCIÓN: Cda. 11 de Agosto
TELÉFONO: 032602542 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 27 – 07 – 15
FECHA DE INFORME: 03 – 08 – 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Tratada, Industria láctea **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA – 102 -15 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 102-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	8,05	+/- 0,08	27 – 07 – 15
Conductividad	us/cm	STANDARD METHODS 2510 - B	983		27 – 07 – 15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	754	+/- 6 %	27 – 07 – 15
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	23	N/A	27 – 07 – 15
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	12,2	N/A	27 – 07 – 15
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	1,82	N/A	27 – 07 – 15
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	19,8	N/A	27 – 07 – 15
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	134	N/A	27 – 07 – 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	196	+/- 10 %	27 – 07 – 15

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.



- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizad(a)s.
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Gabriela Barragán

Fecha de Análisis: 24 de junio del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 29 de junio del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual industrial Tratada

Localidad: Planta de Lácteos Paraíso

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/039-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	8.19
Conductividad	μSiems/cm	2510-B		850
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	176
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	97
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	220	60
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		450

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Observaciones:

Atentamente.

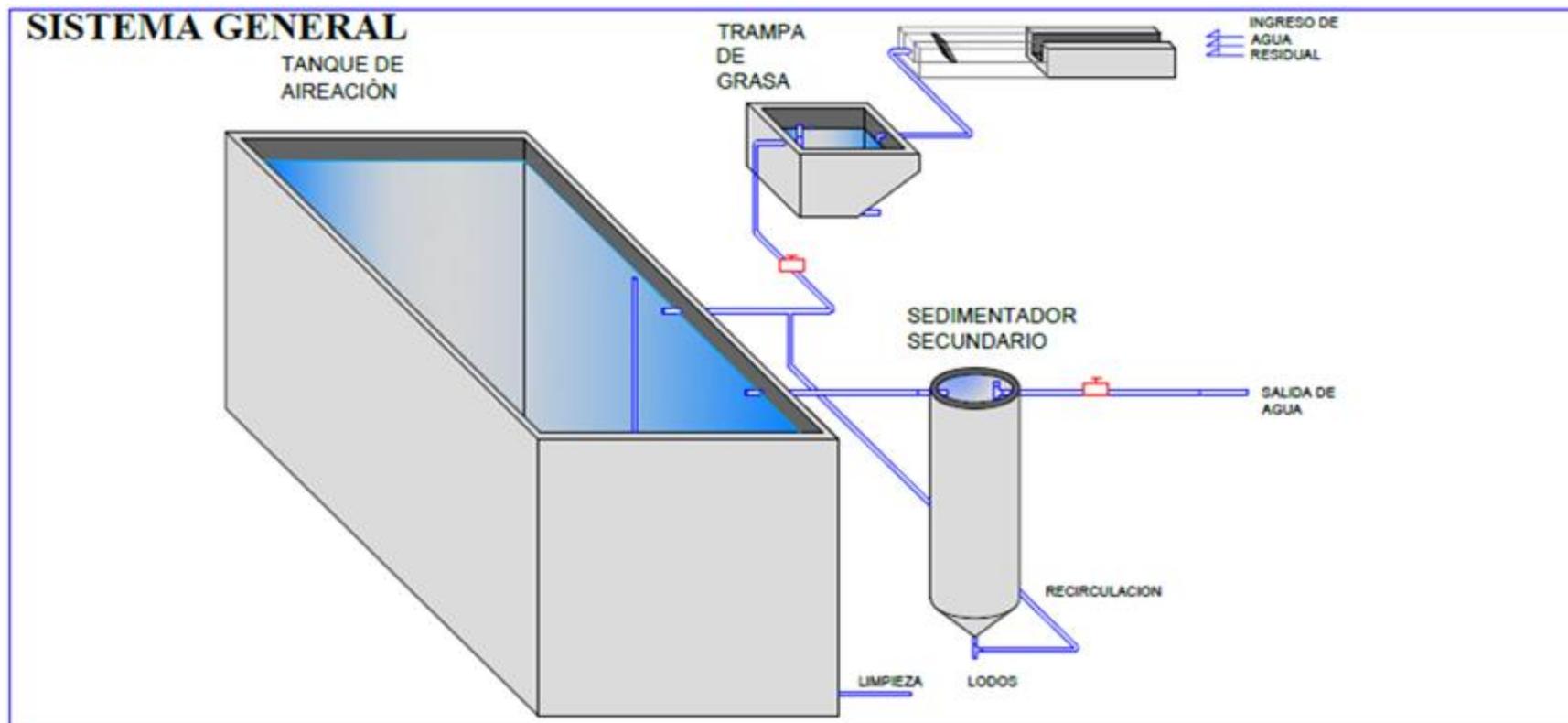


Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

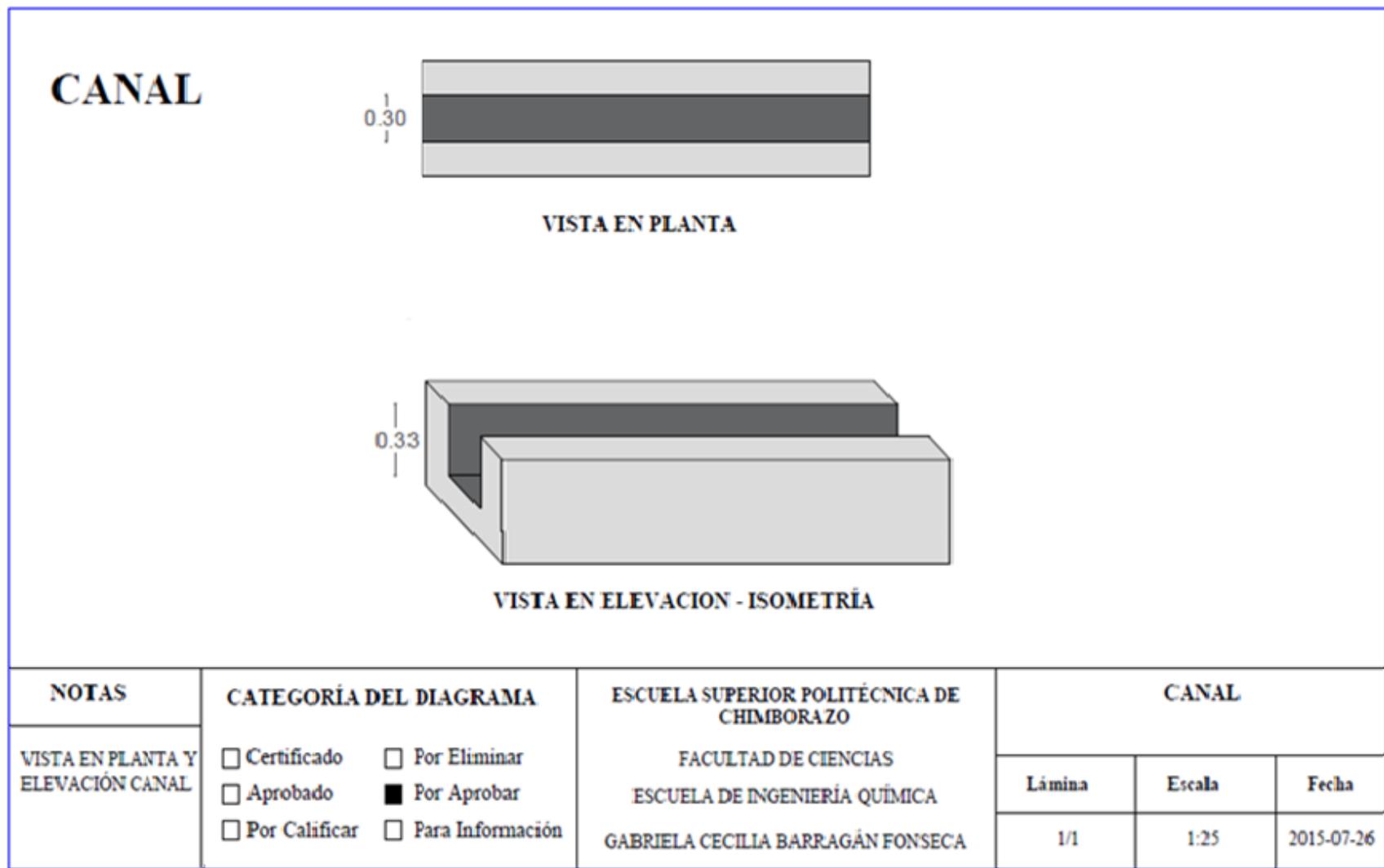
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Anexo I. Planta de tratamiento de agua residual para Lácteos Paraíso.

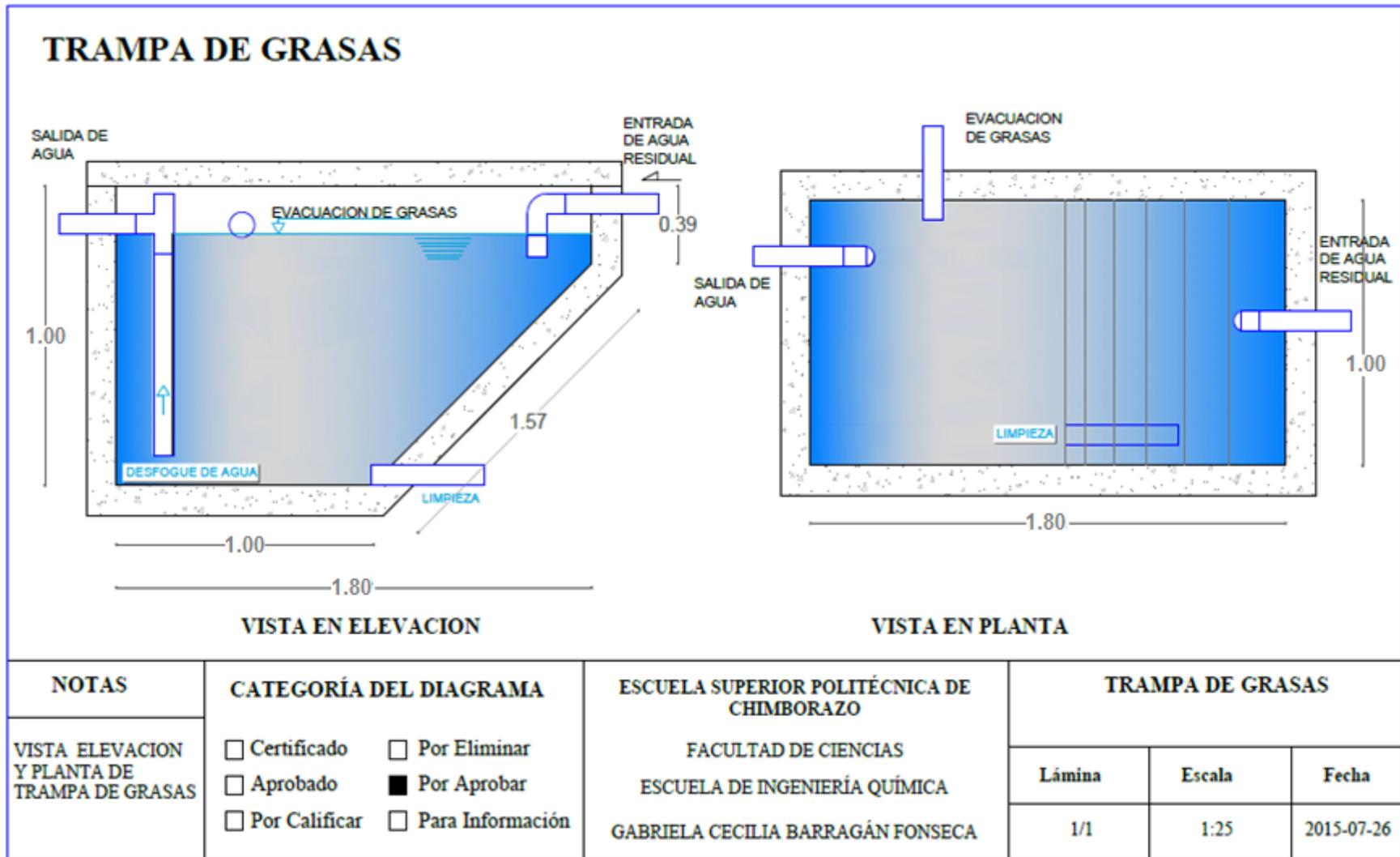


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	VISTA GENERAL DEL SISTEMA		
VISTA EN ISOMETRÍA SISTEMA GENERAL	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	1/1	1:75	2015-07-26
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA			

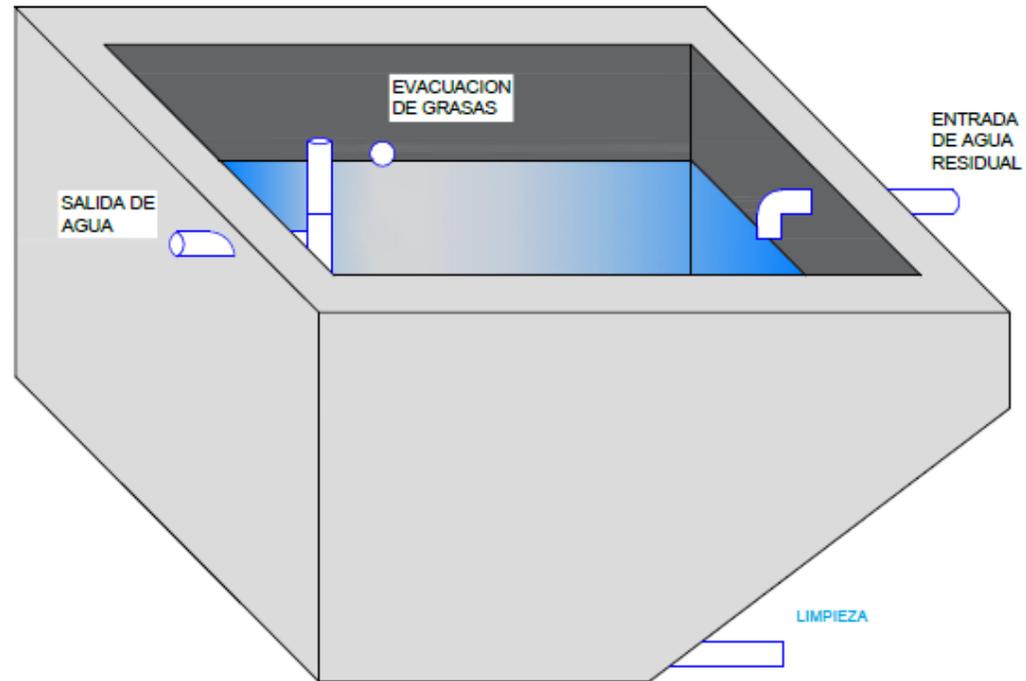
Anexo J. Canal



Anexo K. Trampa de grasa.

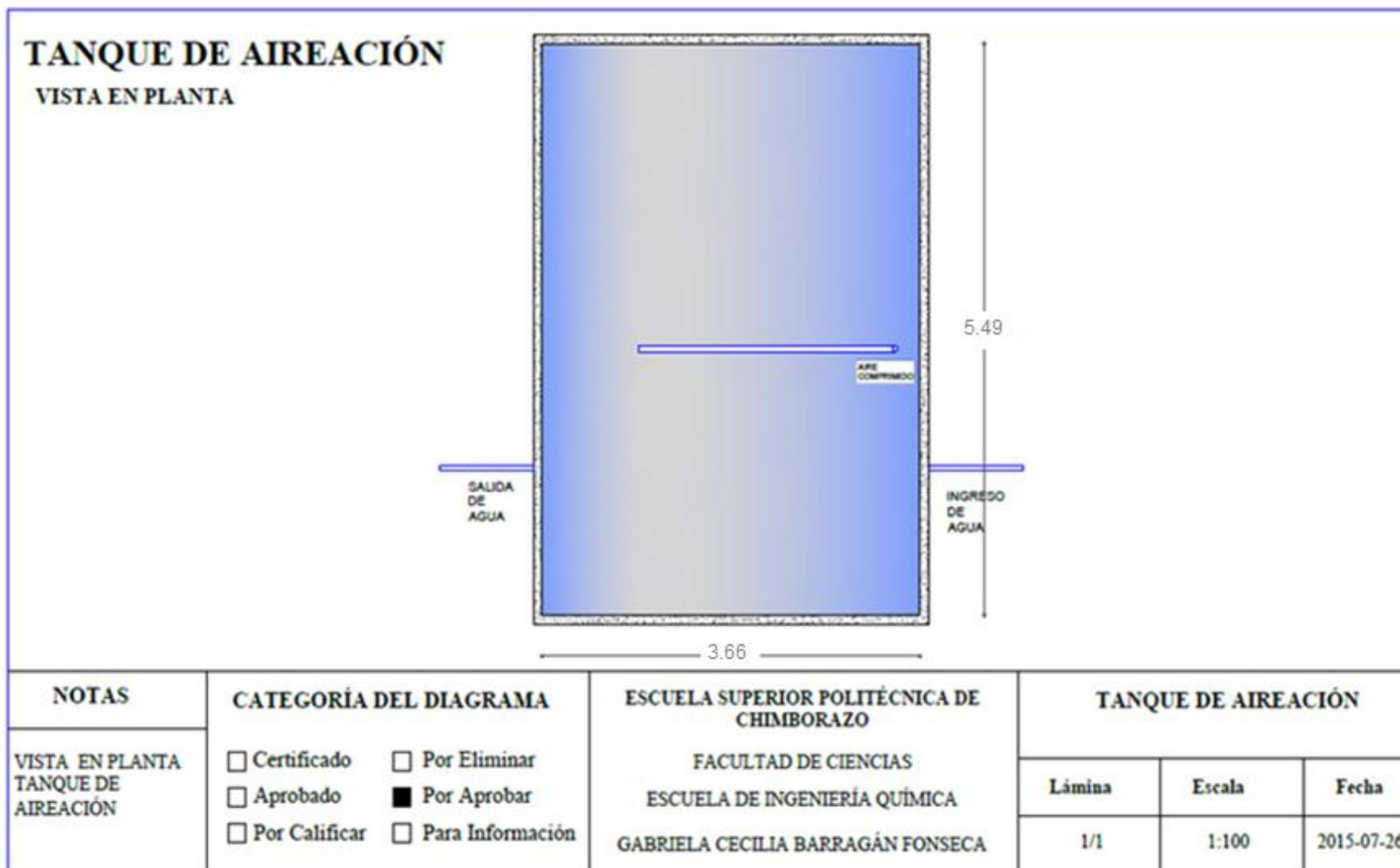


TRAMPA DE GRASAS



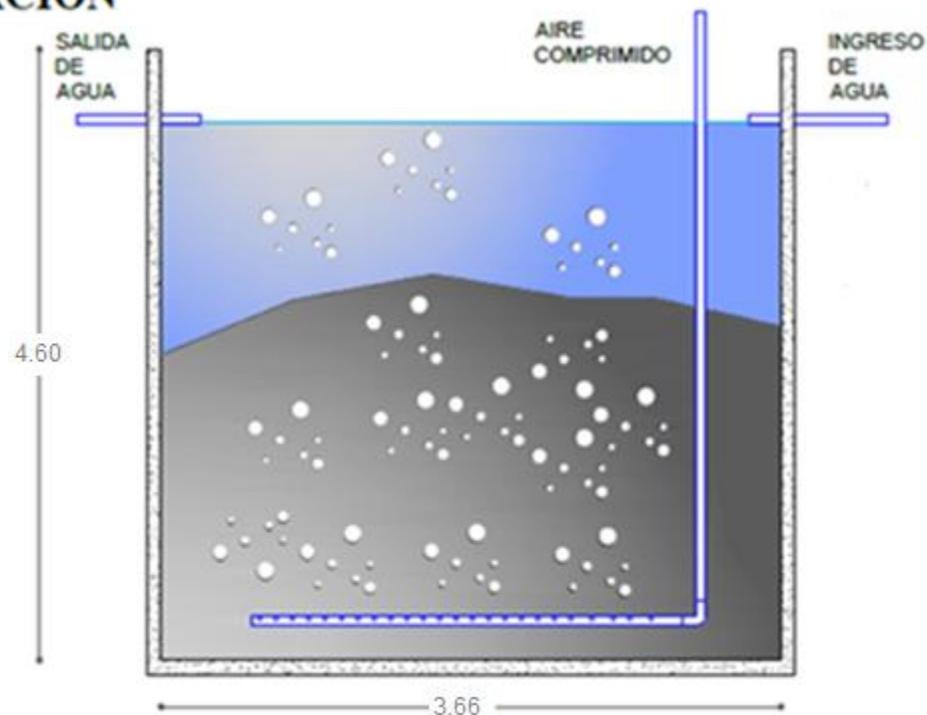
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	TRAMPA DE GRASAS		
VISTA EN ISOMETRÍA TRAMPA DE GRASAS	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Por Aprobar		1/1	1:25	2015-07-26
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información				

Anexo L. Tanque de aireación.



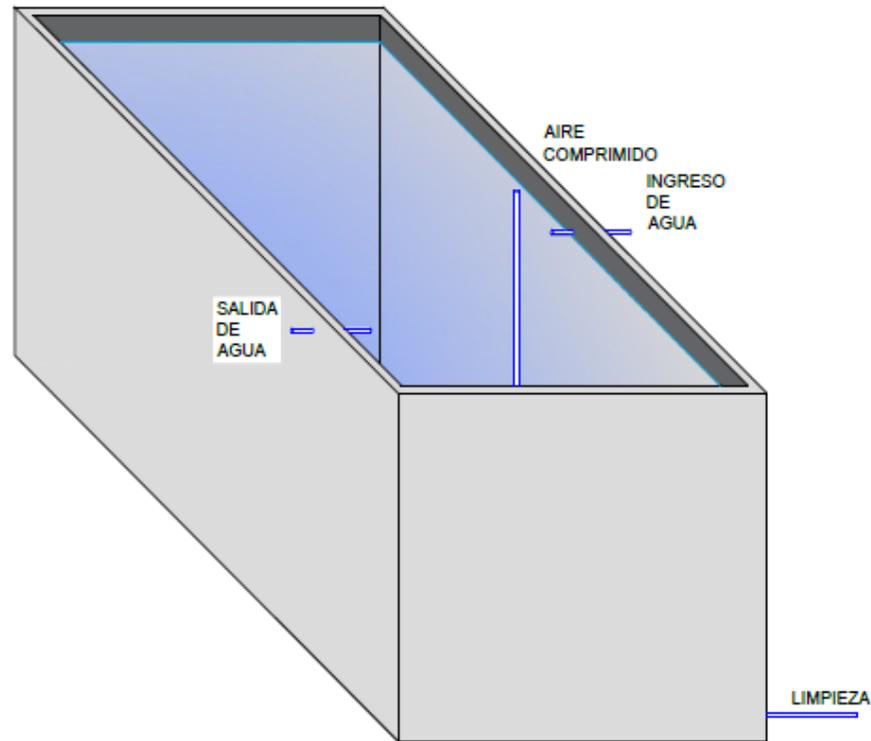
TANQUE DE AIREACIÓN

VISTA EN ELEVACIÓN



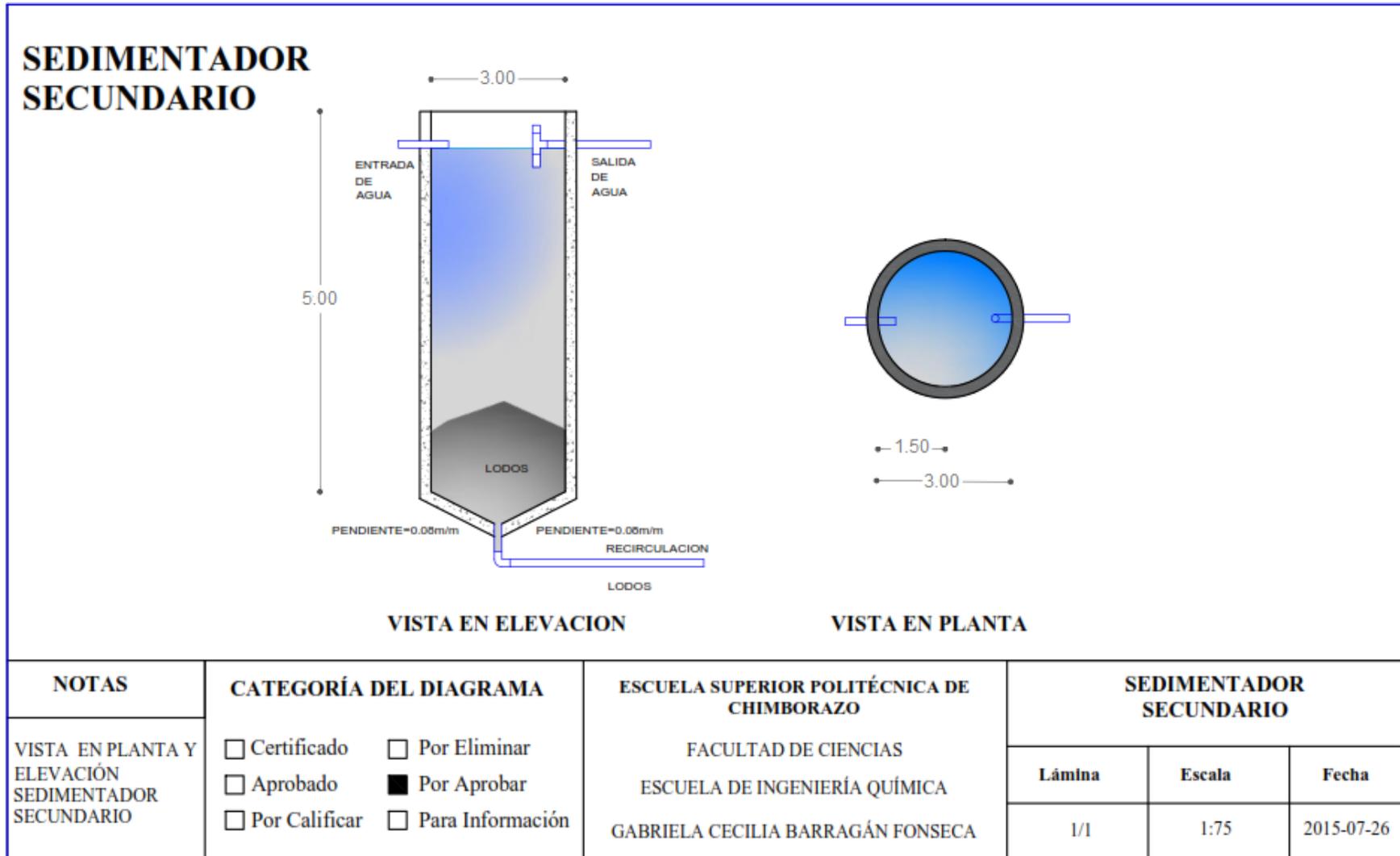
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA	TANQUE DE AIREACIÓN		
			Lámina	Escala	Fecha
VISTA EN ELEVACIÓN TANQUE DE AIREACIÓN	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		1/1	1:75	2015-07-26

TANQUE DE AIREACIÓN

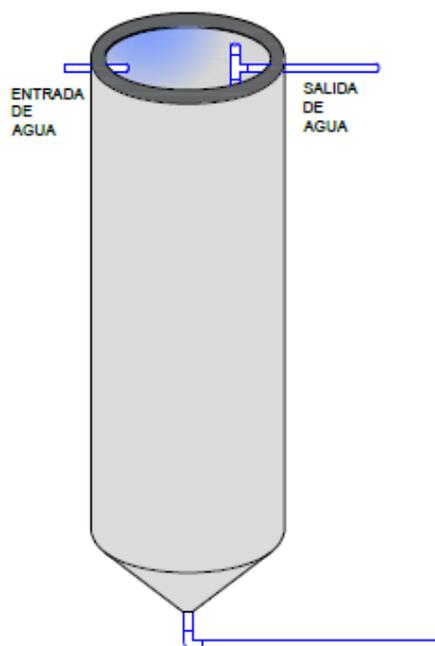


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	TANQUE DE AIREACIÓN		
VISTA EN ISOMETRÍA TANQUE DE AIREACIÓN	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	1/1	1:75	2015-07-26
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA			

Anexo M. Tanque de sedimentación secundario.

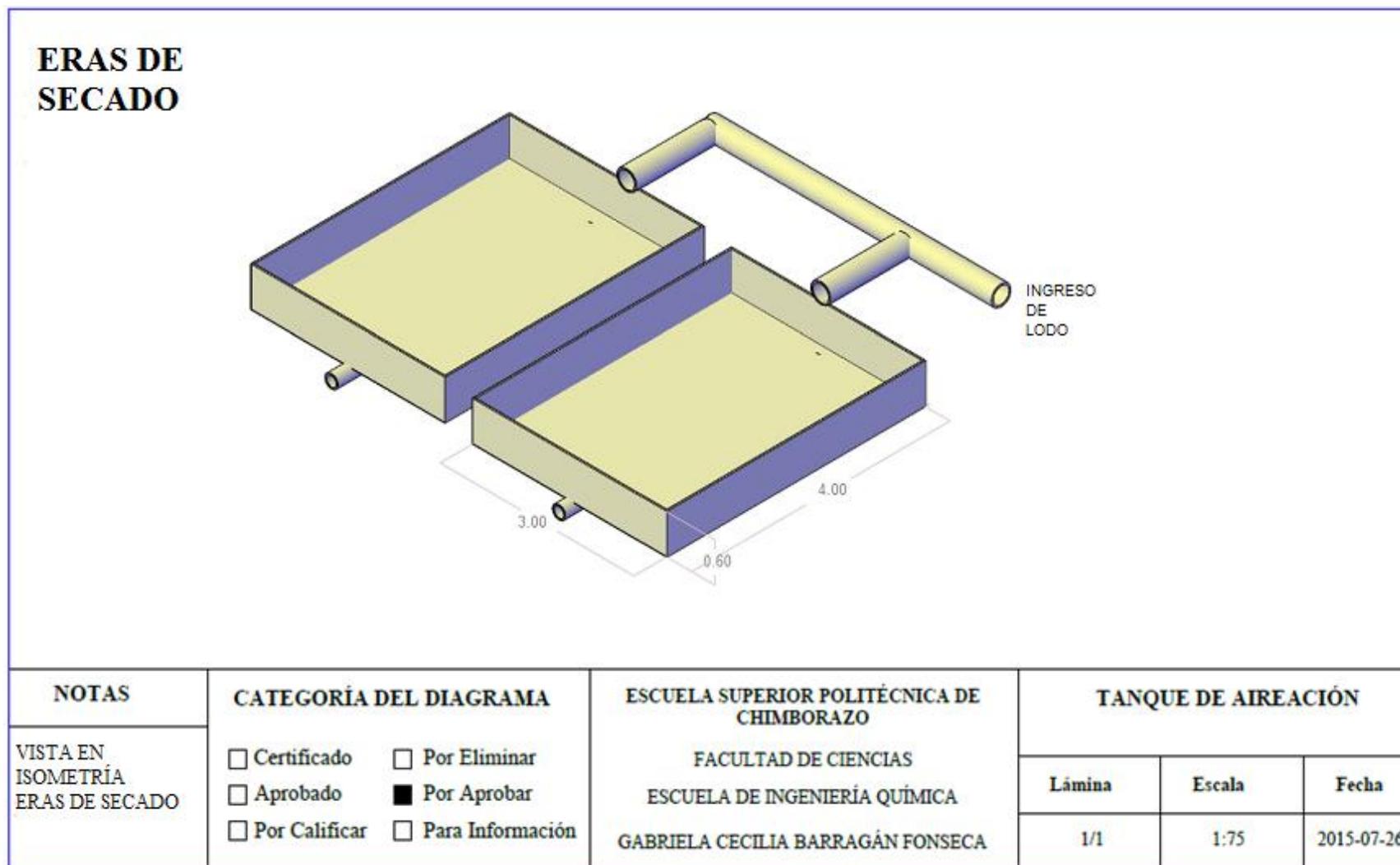


SEDIMENTADOR SECUNDARIO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SEDIMENTADOR SECUNDARIO		
VISTA EN ISOMETRÍA SEDIMENTADOR SECUNDARIO	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	1/1	1:75	2015-07-26
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	GABRIELA CECILIA BARRAGÁN FONSECA			

Anexo N. Disposición de lodos - Eras de secado



Anexo O. Procedimientos de limpieza

PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO DE SEDIMENTADORES

El mantenimiento de los tanques de sedimentación incluye actividades periódicas que consisten principalmente en el drenaje y evacuación de sedimentos acumulados en el fondo de la unidad.

La remoción de los sedimentos depositados en el fondo de los tanques de sedimentación se realizará cada 6 u 8 semanas, si el agua es muy turbia dicha remoción se debe realizara con mayor frecuencia.

Actividades	Acciones
Lavado del tanque	
Cortar el flujo de agua hacia el tanque	- Cerrar su válvula de entrada al tanque.
Limpieza de cámara de sedimentación	- Desprender el material adherido del fondo y paredes con la ayuda de una escobilla de cerdas sintéticas. - Abrir la válvula de drenaje para la evacuación de agua y sedimentos. - Remover los sedimentos, raspar el fondo del tranque y dejarlo completamente limpio. - Enjuagar completamente el tanque con la ayuda de agua antes de restaurar su funcionamiento.
Poner en funcionamiento	- Cerrar la válvula de drenaje y abrir las válvulas de llenado del tanque. - El tanque se llenará entre 4 a 6 horas y volverá a sus funciones.

Fuente: (UNATSABAR, 2005, http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guia/calde/2sas/d23/037_O&M_%20de_desarenadores_y_sedimentadores/O&M_%20de_desarenadores_y_sedimentadores.pdf)

Realizado por: Gabriela Barragán

No se debe realizar los cortes de suministros en horas donde la producción sea máxima. Otros mantemimientos a realizar con periodicidad son:

- Engrasado mensual de dispositivos de apertura y limpieza incluidos en los tanques.
- Los elementos metálicos deben pintarse semestralmente con pintura corrosiva.
- Inspección anual de forma minuciosa del tanque acompañada de resane de deterioros en la estructura, reparación o cambio de válvulas y dispositivos.

PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO DE TANQUES DE AIREACIÓN

Esta tarea se llevará a cabo de manera efectiva al seguir los siguientes pasos:

Actividades	Acciones
Lavado del tanque	
Cortar el flujo de agua hacia el tanque	- Cerrar su válvula de entrada al tanque.
Limpieza del tanque de aireación	- Vaciar parcialmente el tanque hasta una cierta cantidad (unos 15 a 20 cm). - Lavar y restregar las paredes y el fondo con un cepillo, agua y detergente. - Vaciar el tanque completamente y enjuagar varias veces hasta que no queden más residuos. - Eliminar el agua y los residuos por el desagüe del fondo del tanque, no por las cañerías para evitar su taponamiento.
Poner en funcionamiento	- Cerrar la válvula de drenaje y abrir las válvulas de llenado del tanque.

Fuente: (Godfrey, 2009, <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/3-TanquesAlmacenamiento.pdf>)

Realizado por: Gabriela Barragán

Otros aspectos a considerar son:

- Si existe la acumulación excesiva de la capa de espuma, de color blanco, en la superficie del tanque de aireación se debe aumentar la edad del lodo y reducir el caudal de purga.
- Si existe la aparición de una capa flotante de espuma oscura y aceitosa, debe reducirse la edad del lodo y/o aumentar la transferencia de oxígeno.