



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN
DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH”**

Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

José Luis Paguay Macas

Riobamba – Ecuador

2013

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar agradezco a Dios por ser él quien ha guiado mi vida, por haberme dado la fortaleza y fuerza necesaria para alcanzar, esta meta.

A mi querida madre, quien con su sacrificio y amor inculco en mí el deseo de superación y progreso, los cuales día a día me incentivaron.

Al Ing. Cesar Avalos director de mi tesis y al Dr. Gerardo León colaborador, por haber brindado su mano amiga y colaboración, quienes con sus conocimientos me supieron guiar, orientando con un criterio correcto, acertado y oportuno, para la realización de esta tesis de grado.

Al Ing. Marco Manzano Encargado de la planta de lácteos ESPOCH y Sr. Jaime Loja Técnico de producción, por haber ayudado y guiado con su valioso aporte en el presente trabajo investigativo, y a cada una de las personas que han confiado en mí, en especial a la familia Aria Lara quienes fueron un pilar fundamental en el logro de esta meta.

José Paguay

DEDICATORIA.

Dedico con todo mi amor esta tesis de grado, misma que fueron escritas con esfuerzo y sacrificio a la persona que más amo y admiro, mi querida madre Juliana quien me han apoyado y sacrificado por mí, a mis hermanas quienes son un ejemplo de superación y perseverancia.

A mis amigos quienes me aportaron con su aliento en todos los momentos.

José Paguay

NOMBRE

FECHA

FIRMA

Dr. Silvio Alvarez L.

.....

.....

DECANO FAC. CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés A.

.....

.....

DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA

Ing. Cesar Avalos I.

.....

.....

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo León Ch.

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tec. Carlos Rodríguez

.....

.....

DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN

HOJA DE RESPONSABILIDAD.

“Yo, **JOSÉ LUIS PAGUAY MACAS** soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**”

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área
a	Fracción de sustrato removido utilizado para la producción de energía
α	Factor de correlación para la transferencia en la purga
β	Factor de correlación para la salinidad y tensión superficial
AR	Agua residual
An	Ancho
As	Área superficial
b la	Oxígeno necesario para la respiración endógena en la masa líquida de laguna
Cs	Carga superficial
C _d	Concentración de oxígeno disuelto en la laguna
C _{sw}	Concentración de saturación de oxígeno disuelto en la laguna pura
C' _{sw}	Concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura
C _{vertedero}	Carga sobre vertederos
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
d	Días
E	Rendimiento o reducción real de la DBO ₅
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
f	Factor de fricción de Darcy - Weisbach

FM	Factor de Mayorización
F/M	Relación alimenticio/ microorganismos
G	Gradiente medio de velocidad del fluido
H	Altura
H _{reparto}	Altura de reparto
Km	Kilómetro
m	Metros
pH	Potencial de hidrógeno
k	Constante que depende del tipo de material arrastrado
K	Tasa constante de primer orden de remoción de DBO ₅
K _d	Coefficiente de degradación endógena
L	Litros
l	Largo
N	Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo
No	Tasa de transferencia de oxígeno
n	velocidad de rotación
P	Presión atmosférica
P _U	Potencia unitaria de aireación
P _t	Potencia total necesaria
P _x	Producción diaria neta de fango
P _v	Presión de vapor de agua saturada
Q	Caudal de diseño
Q _a	Caudal del afluente clarificado

Q_s	Caudal de sedimento separado
Q_e	Caudal del efluente
Q_r	Caudal del agua residual
R_{central}	Reparto central
ϕ	Diámetro
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
R	Porcentaje de remoción esperado
SS	Sólidos Suspendidos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
T	Temperatura
t	Tiempo de trabajo
T_r	Tiempo de retención
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario
V	Volumen
V_h	Velocidad horizontal mínima de arrastre
WO_2	Concentración de SSV en la laguna de aireación
X	Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el efluente
X_e	Concentración de SSV en el efluente
X_a	mg/L de Sólidos suspendidos en el afluente
X_s	mg/L de Sólidos suspendidos en el caudal separado
X_{Tr}	Concentración de lodos en el fondo
$X_{va,(Tr)}$	Concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente

Y	Coeficiente de producción de lodos
Y_{obs}	Producción observada
r	Radio
S_e	Concentración de DBO_5 en el efluente
S_0	Concentración de DBO_5 en el afluente
S'_e	Concentración real de DBO_5 en el efluente
g	Gravedad
μ	Viscosidad dinámica
π	Pi
ρ	Densidad del fluido
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto

TABLA DE CONTENIDOS

CARATULA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE GRAFICOS

INDICE DE ECUACIONES

INDICE DE ANEXOS

RESUMEN.....	I
SUMMARY.....	II
INTRODUCCION.....	III
ANTECEDENTES.	V
JUSTIFICACION.....	VI
OBJETIVOS:.....	VIII
1 MARCO TEORICO.....	31
1.1 GENERALIDADES.....	31
1.1.1 PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH.....	31
1.1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	31
1.1.3 PRINCIPALES PRODUCTOS QUE SE ELABORAN.	32
1.2 IMPACTO AMBIENTAL: PROBLEMÁTICA	33
1.3 AGUAS RESIDUALES.....	34
1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES:	34

1.3.2	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	35
1.3.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	35
1.4	CONTAMINACIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	40
1.4.1	COMPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES.	41
1.4.2	COMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS LÁCTEOS.....	43
1.4.3	ALGUNOS PROCESOS GENERADORES DE EFLUENTES LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	44
1.4.4	GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH.....	45
1.5	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	47
1.5.1	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	47
1.5.2	NIVELES DE TRATAMIENTO.....	48
1.6	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	55
1.6.1	CAUDAL DEL DISEÑO.....	55
1.6.2	MEZCLA.....	56
1.6.3	SEDIMENTACIÓN PRIMARIA.....	58
1.6.4	LAGUNAS AIREADA AERÓBICAS DE MEZCLA COMPLETA.....	64
1.6.5	SEDIMENTADOR SECUNDARIO.....	70
1.6.6	CARGA SOBRE VERTEDEROS.....	73
1.7	NORMATIVA AMBIENTAL.....	73
1.7.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....	74
1.7.2	LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	74
1.7.3	TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULAS).....	74
2	PARTE EXPERIMENTAL.....	77

2.1	METODOLOGÍA.....	77
2.1.1	MEDICIÓN DE CAUDALES	77
2.1.2	MUESTREO Y CARACTERIZACION DEL AGUA.....	77
2.2	METODOS Y TECNICA.....	79
2.2.1	MÉTODOS.....	79
2.2.2	TECNICAS.....	80
2.3	PROCESOS DE TRATABILIDAD.....	88
2.3.1	ENSAYO DE LABORATORIO. MÉTODO “PRUEBA DE JARRAS”.	88
2.3.2	PRUEBAS DE SEDIMENTACIÓN	90
2.4	DATOS EXPERIMENTALES	90
2.4.1	TEST DE JARRAS	93
2.4.2	PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN	98
2.4.3	Análisis Físico-químico de agua después del tratamiento químico (coagulación).....	99
2.5	RESULTADOS	100
2.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	101
3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES PARA LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH	103
3.1	CAUDAL DEL DISEÑO	105
3.1.1	DETERMINACION DEL CAUDAL	105
3.2	DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIA CIRCULAR	105
3.2.1	CALCULO DEL ÁREA SEDIMENTADOR:	106
3.2.2	CALCULO DEL RADIO DEL SEDIMENTADOR.	106
3.2.3	Calculo del Diámetro del sedimentador:	106
3.2.4	Calculo de la altura del sedimentador.....	106

3.2.5	Tiempo de retención hidráulico:.....	107
3.2.6	Tiempo de retención real	107
3.2.7	Calculo de la Velocidad de arrastre:.....	107
3.2.8	DIMENSIONAMIENTO DE LA PALETA.	108
3.2.9	DESEMPEÑO DE LOS SEDIMENTADORES	109
3.2.10	BALANCE PARA EL SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	110
3.3	CALCULO PARA EL DISEÑO DE LA LAGUNA AIREADA AERÓBICA DE MEZCLA COMPLETA	112
3.3.1	Concentración de la DBO ₅ en el afluente.....	112
3.3.2	Calculo de la Concentración de la DBO ₅ en el efluente.....	112
3.3.3	Tiempo de retención hidráulica	113
3.3.4	Concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente	113
3.3.5	Concentración real de DBO ₅ en el efluente.....	114
3.3.6	Rendimiento en la depuración	114
3.3.7	Calculo del Volumen de la laguna.....	114
3.3.8	Largo, ancho y profundidad de la laguna	114
3.3.9	Producción observada (Y _{obs})	115
3.3.10	Producción de fangos	115
3.3.11	Requerimiento de oxígeno.....	116
3.3.12	Características del Difusor.....	116
3.4	CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO	118
3.4.1	Área del sedimentador secundario.....	118
3.4.2	Radio del sedimentador.	118
3.4.3	Diámetro del sedimentador.....	118

3.4.4	Tiempo de retención Hidráulico para el sedimentador secundario	119
3.4.5	Reparto central.....	119
3.4.6	Calculo de la altura del sedimentador.....	119
3.4.7	Altura de reparto.....	119
3.4.8	Carga sobre vertederos.	120
3.5	Resumen de los Equipos Diseñados.....	120
3.5.1	Sedimentador primario	120
3.5.2	Laguna aireada aeróbica de mezcla completa	121
3.5.3	Sedimentador secundario.....	122
3.6	REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL	123
3.7	PROPUESTA	124
3.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	125
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
4.1	CONCLUSIONES.....	128
4.2	RECOMENDACIONES	130
	BIBLIOGRAFIA.....	131
	ANEXOS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Principales productos que se elaboran en la planta de lácteos ESPOCH	32
Figura 1-2 Diagrama de un sistema de tratamiento de aguas residuales	48
Figura 1-3 Tanques de sedimentación circular	49
Figura 1-4 Remoción de DBO_5 y SST en tanques de sedimentación primaria	64
Figura 3-1 Diagrama de flujo del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta de Lácteos ESPOCH.....	104
Figura 3-2 Balance de masa para sedimentadores.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.4-1 Principales vertidos generados en industrias lácteas.....	42
Tabla 1.4-2 Composición de DBO ₅ aproximadas de diversos productos lácteos por cada 100 gramos.....	43
Tabla 1.4-3 Generación de efluentes en la industria láctea.	46
Tabla 1.4-4 Características de los efluentes líquidos: suero.....	47
Tabla 1.5-1 Características de algunos reactivos coagulantes.....	51
Tabla 1.6-1 Valores usuales de gradiente de velocidad G y tiempos de retención de los procesos de tratamiento de aguas.	57
Tabla 1.6-2 Criterios de diseño de tanques circulares de sedimentación primaria.....	58
Tabla 1.6-3 Valores recomendados de la carga superficial	59
Tabla 1.6-4 Valores de las constantes empíricas a y b.	63
Tabla 1.6-5 Parámetro de diseño del proceso de laguna aireada de mezcla completa	64
Tabla 1.6-6 Información básica para el diseño de sedimentadores circulares secundarios..	70
Tabla 1.6-7 Tasa superficial para sedimentación secundaria	71
Tabla 1.7-1 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	75
Tabla 2.2-1 Determinación de Aceites y Grasas	81
Tabla 2.2-2 Determinación del potencial de hidrogeno	82
Tabla 2.2-3 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno	83
Tabla 2.2-4 Determinación de Sólido Suspendido	84
Tabla 2.2-5 Determinación de Coliformes Fecales	85
Tabla 2.2-6 Determinación de Sólidos Disueltos	86
Tabla 2.2-7 Determinación de la demanda química de oxígeno	87
Tabla 2.4-1 Análisis físico químico del agua residual de la planta de lácteos ESPOCH.....	90
Tabla 2.4-2 Análisis físico químico de los parámetros más importantes a considerar.....	91

Tabla 2.4-3 Producción (agosto 2012 - enero 2013)	91
Tabla 2.4-4 Consumo de agua en la planta de lácteos ESPOCH	92
Tabla 2.4-5 Variación de la dosis del coagulante	94
Tabla 2.4-6 Adición de algunos floculantes	95
Tabla 2.4-7 Influencia del pH.....	97
Tabla 2.4-8 Prueba de sedimentación.....	98
Tabla 2.4-9 Análisis Físico-químico de agua después del tratamiento químico (Policloruro de aluminio 1000pm, 1 g cal/L)	99
Tabla 3.5-1 Resumen del dimensionamiento del sedimentador primario	120
Tabla 3.5-2 Resumen del dimensionamiento de la paleta	121
Tabla 3.5-3 Resumen del dimensionamiento de la laguna aireada.....	121
Tabla 3.5-4 Resumen del dimensionamiento del difusor	122
Tabla 3.5-5 Resumen del dimensionamiento del sedimentador secundario.....	122
Tabla 3.6-1 Remoción de contaminantes del AR	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 2.4-1 Producción (agosto 2012 – enero 2013)	92
Grafico 2.4-2 Consumo de agua en la planta de lácteos ESPOCH	93
Grafico 2.4-3 Variación de la dosis del coagulante vs turbidez	94
Grafico 2.4-4 Influencia del floculante vs tiempo de sedimentación	96
Grafico 2.4-5 Influencia del floculante vs turbidez	96
Grafico 2.4-6 Influencia del pH vs producción de lodos.....	97
Grafico 2.4-7 Influencia del pH vs tiempo	98
Grafico 2.4-8 Curva de sedimentación	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.6.1-1 Caudal del agua residual	55
Ecuación 1.6.1-2 Caudal de Diseño	55
Ecuación 1.6.3-1 Potencia Disipada	56
Ecuación 1.6.3-2 Gradiente de velocidad del fluido	57
Ecuación 1.6.4-1 Carga superficial.....	59
Ecuación 1.6.4-2 Area del sedimentador.....	59
Ecuación 1.6.4-3 Area del sedimentador.....	60
Ecuación 1.6.4-4 Radio del sedimentador	60
Ecuación 1.6.4-5 Diametro del sedimentador	60
Ecuación 1.6.4-6 Area del sedimentador.....	60
Ecuación 1.6.4-7 Altura del sedimentador	60
Ecuación 1.6.4-8 Tiempo de retención.....	61
Ecuación 1.6.4-9 Velocidad de arrastre.....	62
Ecuación 1.6.4-10 Remocion teorica de DBO ₅ y SST	63
Ecuación 1.6.5-1 Tiempo de retención.....	65
Ecuación 1.6.5-2 Relacion Alimentacio/Microorganismos.....	65
Ecuación 1.6.5-3 Concentració de SSV en la masa liquida y el efluente.....	66
Ecuación 1.6.5-4 Concentración Real DBO ₅ en el efluente	66
Ecuación 1.6.5-5 Rendimiento de depuración.....	66
Ecuación 1.6.5-6 Volumen de la laguna.....	67
Ecuación 1.6.5-7 Produccion Observada.....	67
Ecuación 1.6.5-8 Produccion de fangos..	67
Ecuación 1.6.5-9 Requerimiento de oxigeno.....	68

Ecuación 1.6.5-10 Tasa de transferencia de oxígeno..	68
Ecuación 1.6.5-11 Corrección de CSW	69
Ecuación 1.6.5-12 Potencia total necesaria	69
Ecuación 1.6.5-13 Potencia unitaria de aireación.....	70
Ecuación 1.6.6-1 Área del sedimentador.....	71
Ecuación 1.6.6-2 Radio del sedimentador	71
Ecuación 1.6.6-3 Diametro del sedimentador	72
Ecuación 1.6.6-4 Tiempo de retención.....	72
Ecuación 1.6.6-5 Reparto Central.....	72
Ecuación 1.6.6-6 Altura del sedimentador	72
Ecuación 1.6.6-7 Altura de reparto.....	73
Ecuación 1.6.7-1Carca sobre vertederos	73
Ecuación 3.3.10-1Balance total	111
Ecuación 3.3.10-2 Balance parcial	111
Ecuación 3.3.10-3 Volumen deefluente clarificado	111
Ecuación 3.4.1-1 Concentración de la DBO ₅ en el afluente.....	112
Ecuación 3.4.2-1Concentración de la DBO ₅ en el efluente se	112
Ecuación 3.4.8-1 Volumen de la laguna.....	114
Ecuación 3.4.8-2 Ancho de la laguna.....	115
Ecuación 3.4.8-3 Largo de la laguna	115

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Sistema de rejillas	135
Anexo 2 Cajas de Retención.....	136
Anexo 3 Toma de muestras	137
Anexo 4 Proceso de coagulación química con Policloruro de aluminio al 25%	138
Anexo 5 Influencia del pH en el proceso de coagulación	139
Anexo 6 Disposición del final lodo	140
Anexo 7 Diagrama del área de producción de la planta de lácteos ESPOCH.....	141
Anexo 8 Análisis físicos-químicos del Agua Residual de la Planta de Lácteos ESPOCH	142
Anexo 9 Análisis físico-químico del AR después del tratamiento (coagulación química)	143
Anexo 10 Análisis físicos-químicos del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH	144
Anexo 11 Vista de la planta de Tratamiento del AR.....	145
Anexo 12 Vista del Sedimentador Primario.....	146
Anexo 13 Vista de la Laguna Aireada.....	147
Anexo 14 Vista del Sedimentador Secundario.....	148

RESUMEN

El diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual que genera la planta de lácteos ESPOCH.

Para desarrollar esta investigación se aplicó el método experimental utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción para analizar los problemas que ocasionan los efluentes líquidos y buscar alternativas basándonos en estudios relacionados con el tratamiento de aguas residuales propuestos por varios autores, para ello se realizó muestreos, análisis físicos químico y pruebas de tratabilidad, se utilizó: recipientes, vasos de precipitación, pH metro, nefenómetro, pipetas, probetas y Test de jarras.

El efluente generado es de origen orgánico biodegradable, se ve reflejado por la alta Demanda Bioquímica de Oxígeno 11700 mL/L, Demanda Química de Oxígeno 15900 mL/L y Sólidos Suspendidos Totales 1500 mL/L, además pH básico 11.41 y Turbidez 1138 NTU, los cuales están fuera de los parámetros establecidos en el libro VI "TULAS".

Para eliminar la mayor cantidad de contaminantes se diseñó el sistema de tratamiento que consta de tres equipos: un sedimentador circular primario de 1.0m³ de capacidad, para realizar un proceso de coagulación química, una Laguna Aireada Aeróbica de 10.5m³ de capacidad y un sedimentador circular secundario de 0.5m³ de capacidad.

Concluimos que el sistema removerá la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 97.1%, la Demanda Química de Oxígeno en 96.8%, los Sólidos Suspendidos Totales en 92.6%, disminuir la turbidez >1 NTU y mantener el pH <7, haciéndole apta para uso agrícola.

Recomendamos implementar este sistema de tratamiento propuesto para disminuir la contaminación del agua en la Estación Experimental Tunshi.

SUMMARY

This research work is about a system design for wastewater treatment and reuse generated by dairy plant in Tunchi, ESPOCH.

To develop this research, an experimental method was applied using induction and deduction as logical processes to analyze the problems caused by liquid effluents. The idea was to look for different alternatives basing the study on wastewater treatment proposed by different authors. In order to do this, several sampling, physical chemical analysis and treatment tests were done. The instruments used were as follows: containers, beakers, pH meter, nephelometer, pipettes, graduated cylinders, and test jars.

The generated effluent comes from biodegradable organic waste, and it shows a high Biochemical Oxygen Demand of 11700 mL / L, chemical oxygen demand of 15900 mL / L and Total Suspended Solids of 1500 mL / L, moreover, alkaline pH is 11.41 and turbidity is 1138 NTU. All this are outside of the established parameters in the book "TULAS" VI

In order to eliminate most pollutant agents, a system for treatment which contains three pieces of equipment was designed: a circular primary sedimentation tank of 1.0 m³ for a chemical coagulation process, an aerated lagoon of 10.5 m³, and a circular secondary sedimentation tank of 0.5 m³.

It can be concluded that the system will remove 97.1% of Biochemical Oxygen Demand, of 96.8%, Chemical Oxygen Demand, 92.6% of Total Suspended Solids, it will diminish turbidity > 1 NTU and keep a pH <7. This will make it apt for agriculture use.

It is recommended to implement the proposed treatment system to for diminishing water pollution at Tunshi Station Experimental.

INTRODUCCION.

La Contaminación del Agua es causada por las diferentes actividades del hombre, es un fenómeno ambiental de gran importancia, se inicia desde los primeros intentos de industrialización (Revolución Industrial siglo XIX).

Los procesos de producción industrial utilizan grandes volúmenes de agua para la transformación de materias primas, aun cuando se han implementado tecnología cuyo finalidad ha sido producir más, en cortos tiempo, utilizando menos recurso y disminuyendo la contaminación, la emisión de contaminantes al ambiente persiste, por lo que es necesario realizar un tratamiento.

Los principales procesos en la industria láctea que generan efluentes liquido contaminantes son en la producción de quesos, cremas, mantequilla y leche procesada, para el lavado de equipos se emplea soluciones alcalinas (soda caustica) y en la limpieza de materiales y saneamiento de la planta se utiliza detergentes, desinfectantes y agua a altas temperaturas.

El agua residual que generan las industrias lácteas puede ser neutra o poco alcalina, tiende a acidificarse rápidamente por la fermentación del azúcar de la leche (lactosa) produciendo ácido láctico descendiendo su pH. Este efluente puede tener una DQO entre 2000 – 4000 mg/L y una DBO₅ entre 2000 – 3000 mg/L. El consumo de agua en las industrias lácteas oscila entre 8,0 – 10 L/L de leche.

Estas aguas contienen alto contenido de sustancias orgánicas disueltas como la lactosa, sales minerales y suspensiones coloidales de proteínas (caseína, albúminas, y globulinas). Además es inevitable encontrar al suero producto de la producción de quesos. Se estima que tiene

una DBO₅ (40000 - 50000 mg/L), si este no es manejado correctamente o utilizado para otros bienes, puede conllevar hasta un proceso de eutrofización en los cauces receptores.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como finalidad disminuir los contaminantes presentes. Estos procesos dependerán de las características del efluente a tratar y el grado de purificación requerido según los niveles de contaminación permitida por las normativas locales.

Los diferentes sistemas de tratamientos aplicados al agua residual son alternativas válidas para devolver un efluente menos agresivo al ambiente, con la depuración se persigue disminuirla la mayor cantidad posible de contaminantes, antes de verter a un cauce receptor y que puedan ser asimilados de forma natural.

ANTECEDENTES.

La provincia de Chimborazo se encuentra situada en el Centro del país, región Andina .Se llama así por la ubicación del imponente nevado Chimborazo que es el más grande del Ecuador con una altura de 6310 m sobre el nivel del mar. Riobamba es su capital provincial. Tiene una extensión aproximada de 6.593 km², y limita: Al norte con la provincia de Tungurahua, al sur con Cañar, al este con Morona Santiago y al oeste con Bolívar y Guayas.

La comunidad de Tunshi San Nicolás está ubicado en la parroquia Licto, Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo-Ecuador. Hoy en la actualidad su actividad económica se basa en la agricultura y la ganadería. Aquí se ubica la Estación Experimental de la ESPCOH, donde funciona la planta de lácteos, pertenece a la Facultad de Ciencias Pecuarias, entro en funcionamiento en el año 2000. Cuenta con equipos de pasteurización, producción de quesos y yogur, obtenidos por una donación mediante el convenio de la ESPOCH con la embajada de Japón. La materia prima es obtenida de su propia ganadería (ovina de leche).

La planta además sirve de apoyo académico a los estudiantes de las diferentes Facultad de la ESPOCH, ya que les permite realizar prácticas Pre-profesionales y Trabajos de investigación en el área de la industria láctea y así refuerzan sus conocimientos.

La planta láctea tiene como objetivos generar recursos autofinanciados para la ESPOCH, con la elaboración y comercialización de productos lácteos: como leche pasteurizada, queso fresco y yogurt natural, siendo sus consumidores potenciales actualmente el comedor politécnico de la ESPOCH, IEES, Hospital general entre otras.

JUSTIFICACION.

La planta de Lácteos ESPOCH, procesa alrededor de 350 a 500 litros de leche por día, la cual el 35% es destinado a la producción de queso, el 38% se realiza un proceso de pasteurización, un 2% a la producción de yogur y el 20 % para prácticas pre-profesionales que son realizados por los estudiantes de las diferentes facultades de la ESPOCH (queso mozzarella, canario, mangar de leche, bebidas dietéticas, etc.) Dando un consumo de agua de alrededor de 1500 a 2000litros por día, sabiendo que el 90% se utiliza para el proceso (agua residual) y un 10% como materia en el proceso.

Los grandes problemas ambientales asociados con la planta de lácteos ESPOCH tienen relación básicamente con los residuos líquidos y sólidos. Los residuos sólidos generados en el proceso productivo pueden en la mayoría de los casos ser reciclados hacia otros sectores industriales; mientras que los residuos líquidos generados en la planta son dispuestos en los dos vertederos (pozos sépticos) directamente con un tratamiento minucioso físico dispuesto con un sistema de rejillas y cajas de retención, el cual no garantiza un tratamiento óptimo de la materia contaminante.

Los efluentes líquidos generados en la planta de lácteos ESPOCH se caracterizan por un contenido medio de DBO_5 y por una carga moderada de sólidos suspendidos de donde se deriva su turbidez alta y pequeñas cantidades de grasas.

El no tratamiento de del agua residual generado en la Planta de Lácteos ESPOCH traen consigo grande problemas ambientales, ya que persigue una contaminación del ambiente circundante principalmente pastizales y bebederos, ya que los animales que consumen este alimento pueden contraer enfermedades que les puede causar hasta la muerte.

La razón del tratamiento de aguas residuales de la planta de lácteos ESPOCH representa un factor muy importante, pues le brindará varios beneficios entre ellos la reutilización del agua y la aplicación de buenas prácticas de manufacturas con el fin de obtener productos de alta calidad, que resultaría más económica y disminuiría la contaminación y por otro lado contribuir a la recuperación de su vegetación circundante.

OBJETIVOS:

GENERAL.

- Diseño del Sistema de Tratamiento y Reutilización del Agua Residual en la Planta de Lácteos ESPOCH

ESPECIFICOS:

- Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua residual procedente de la planta de lácteos ESPOCH.
- Plantear alternativas de viabilidad técnica, para diseñar el sistema de tratamiento, basado en los datos de caracterización.
- Establecer el sistema tratamiento más adecuado a nivel de proceso u operacional.
- Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua después del tratamiento
- Dimensionar los diferentes equipos que forman parte del sistema de tratamiento y reutilización.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEORICO.

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH.

La planta de Lácteos Politécnico se encuentra ubicada en la Estación Experimental Tunshi, en la comunidad de Tunshi San Nicolás, en la Vía Licto, a 7 Km de Riobamba, la que pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.

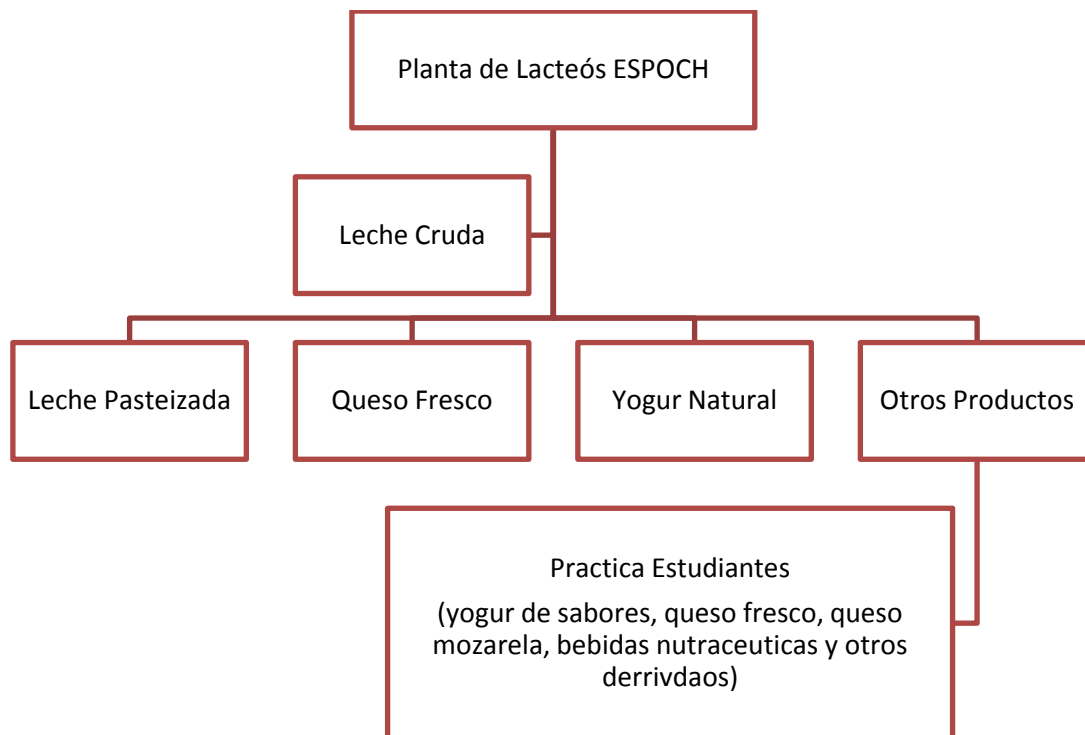
La Planta de Lácteos Politécnico se inicia con la entrega de un laboratorio para control de calidad, equipos para la elaboración de quesos y yogurt a pequeña escala por parte de la Corporación Técnica Suiza, representada por el Señor José Dubach, conjuntamente con el Programa Bovinos de Leche y Equinos. Pasa a denominarse Unidad Productiva hasta el año 2000, dicha Unidad se traslada a Tunshi. Con la donación de los equipos de pasteurización, mediante el Convenio ESPOCH - Embajada del Japón, toma el nombre de Proyecto Plan Piloto de Lácteos.

La planta de lácteos forma parte de las Unidades de Producción de la Facultad de Ciencias Pecuarias, constituyéndose en una importante unidad de apoyo académico en la formación profesional que mediante un adecuado proceso enseñanza aprendizaje (PEA) de la lactología industrial, de la formación pecuaria y agroindustrial, cimientan en los educandos conocimientos científicos y técnicos para que apliquen en bien de la sociedad de la región y del país.

1.1.3 PRINCIPALES PRODUCTOS QUE SE ELABORAN.

Los productos que elaboran en la Planta de lácteos Politécnica son: leche pasteurizada queso fresco y yogurt se procesan bajo pedidos de los principales clientes, también se destaca que sus instalaciones disponen para la realización de práctica académicas de los estudiantes de la Facultad de Ciencias Pecuarias; además mediante convenios facilitan sus instalaciones a instituciones educativas con carreras afines que cuentan en su malla curricular actividades agroindustriales.

Figura 1-1 Principales productos que se elaboran en la planta de lácteos ESPOCH



Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH

1.2 IMPACTO AMBIENTAL: PROBLEMÁTICA

El vertido de aguas residuales sin depurar ejerce sobre los cauces receptores toda una serie de efectos negativos, de entre los que cabe destacar:

- Aparición de fangos y flotantes.
- Agotamiento del contenido de oxígeno presente en las aguas.
- Aportes excesivos de nutrientes (N y P).
- Daños a la salud pública.

Las estaciones depuradoras van a disminuir la elevada cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales, vertiendo efluentes depurados que puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores.

Para evaluar la calidad del agua residual se utilizan tres parámetros que son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y la presencia de sólidos suspendidos totales (SST). El contenido de estos parámetros está de acuerdo al origen de los vertidos que pueden ser de tipo industrial, doméstico, comercial, pluvial, etc.

Las aguas residuales provenientes de la industria láctea contienen grandes cantidades de leche diluida, leche separada, crema de leche, suero, grasas, sólidos suspendidos de origen coloidal, etc. También podemos encontrar pequeñas cantidades de residuos químicos que son utilizados para el lavado de equipos y materiales. La descarga de éstos sin tratamiento previo se convierte en un foco contaminante agresivo para el medio circundante.

1.3 AGUAS RESIDUALES.

“La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. La Ley de Aguas de 1985 y sus posteriores modificaciones define contaminación del agua como: La acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.”¹

1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES:

Domésticas: Son aquellas aguas residuales provenientes de vivienda o de servicios, generadas principalmente por el uso humano y las actividades domésticas.

Industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, principalmente generados en procesos post-industriales, para la fabricación, producción o manejo industrial. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

Pluviales: Son aguas lluvia proveniente de las precipitaciones atmosféricas, estas aguas no son puras, dado que se ven afectadas por la contaminación atmosférica y por los arrastre que llevan consigo a lo largo de su recorrido.

¹alianza por el agua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf

1.3.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

“Para determinar la composición de las aguas residuales se realizan diversas medidas físicas, químicas y biológicas, entre los cuales se destacan la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO), el pH, el nitrógeno total, los detergentes, los sólidos suspendidos totales, los organismos Coliformes totales y los organismos Coliformes fecales.”²

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Cada agua residual es única en sus características aunque en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos.

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas, son parámetros básico para el correcto diseño de los sistemas de tratamiento y evacuación de las mismas.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas.

² <http://www.emagister.com/agua/composicion-aguas-residuales>

1.3.3.1 CARACTERISTICAS FISICAS.

1.3.3.1.1 SOLIDOS TOTALES

Los sólidos totales es la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos Sedimentables son aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el lazo de una hora.

Los sólidos totales pueden dividirse en filtrables y no filtrables (sólidos en suspensión). Cada una de estas categorías puede ser, a su vez, dividida en función de su volatilidad a 550+-50°C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxida y desaparece en forma de gas (sólidos volátiles), quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas (sólidos fijos).

1.3.3.1.2 OLOR

Son debido a gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, el agua residual reciente tiene un olor desagradable pero más tolerable que el agua residual séptica (debido al sulfuro de hidrogeno resultante de la reducción de sulfatos a sulfitos por microorganismos anaerobios). Estos pueden reducir el apetito, producir desequilibrios respiratorios, náuseas o vómitos.

1.3.3.1.3 TEMPERATURA

La temperatura tiene mucha incidencia en los procesos físicos, químicos y biológicos, en condiciones óptimas de temperatura se pueden alcanzar altos niveles de eficiencia.

En relación con los procesos de tratamiento, su influencia se presenta en las operaciones de naturaleza biológica, pues la velocidad de descomposición de las aguas residuales se incrementa con el aumento de temperatura y en las operaciones donde ocurre el fenómeno de la sedimentación, el aumento de la temperatura hace que disminuya la viscosidad,

mejorando las condiciones de este proceso. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre 25 y los 35°C.

1.3.3.1.4 DENSIDAD

La densidad de un agua residual se define a como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m³. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación. También se puede emplear el peso específico.

1.3.3.1.5 TURBIEDAD

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión.

1.3.3.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

1.3.3.2.1 MATERIA ORGANICA

Cerca del 75% de lo sólidos en suspensión y el 40% de lo sólidos filtrables de las aguas residuales son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos se forman por combinaciones de carbono, hidrogeno, oxígeno en presencia de nitrógeno y en pocos casos puede también estar presente el azufre, fosforo y hierro.

Los componentes orgánicos están constituidos por las proteínas entre un 40 a 60%, carbohidratos de 25 a 50%. Algunos hidratos de carbono son solubles en agua como los azucares que tienden a descomponerse, las enzimas de ciertas bacterias y fermentos dan lugar a un proceso de fermentación con la producción de alcohol y CO₂. Otros como los

almidones son insolubles, pero se convierten en azúcares por la acción de ácidos minerales diluidos.

MEDICION DEL CONTENIDO ORGANICO

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), y carbono orgánico total (COT).

La **DBO_5** es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de $20^{\circ}C$.

La **DQO** es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de bicromato en una solución ácida y convertirla en CO_2 y agua.

El valor de la **DQO** es siempre superior a la **DBO_5** porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La **DBO_5** suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales que no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos.

Los resultados de la **DBO_5** se emplean para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, para dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están los vertidos.

1.3.3.2.2 MATERIA INORGANICA

Comprenden nutrientes como amoníaco, nitritos, nitratos, fósforo, los mismos que han sido identificados como los causantes del crecimiento indeseable de plantas acuáticas.

ALCALINIDAD

En el agua residual es provocado por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco.

La concentración de la alcalinidad en aguas residuales es importante en aquellos casos en los que se empleen tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.

pH

Es un parámetro de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales, el intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico, el agua residual con concentraciones de ion hidrogeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos y puede modificar la concentración de ion hidrogeno en las aguas naturales si no se modifica antes de la evacuación de este efluente.

1.3.3.3 CARACTERISTICAS BIOLOGICAS

Las características biológicas de las aguas residuales son de vital importancia, en concentraciones considerables pueden causar enfermedades patógenas destruyendo la vida de los seres vivos circundantes, los microorganismos pueden ayudar en la descomposición y estabilización de la materia orgánica presente.

1.4 CONTAMINACIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.

“Toda actividad industrial supone la producción indirecta de una serie de residuos. En cualquiera de sus formas son emitidos hacia el ambiente produciendo degradación en las características originales del suelo, agua o aire.”³

Las industrias relacionadas con el sector lácteo son muy variadas, tanto como los productos lácteos presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada, que será muy específica del tipo de industria y de su tecnología.

En el Ecuador el crecimiento de la industria láctea ha tomado fuerza en los últimos años, pero no así su tecnología ya que muchas de ellas tiene anticuadas técnicas de producción especialmente en la elaboración de quesos.

Contaminación atmosférica: Generación de vapor inferior a 20 Tm/h (quema de combustibles fósiles como fuel oil y gas oil).

Residuos sólidos: Generalmente son desechos de envases y embalajes, tales como vidrio, cartón, plástico, envases especiales (tipo tetra-pack)

Residuos tóxicos y peligrosos: Entre los que pueden estar son fluidos refrigerantes de transformadores eléctricos, fluidos refrigerantes, aceites usados y residuos de Laboratorios que son casi nulos.

Efluentes líquidos: Diariamente generan una cantidad considerable de aguas residuales, que suele oscilar entre 4 y 10 Litros de agua por cada litro de leche tratada.

³ <http://www.inti.gov.ar/lacteos/pdf/aspectos.pdf>

La mayor parte de estas aguas proceden fundamentalmente de la limpieza de materiales, equipos y salas de tratamiento, por lo que contienen restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes, etc.)

El lactosuero, suero láctico o suero de quesos, es uno de los contaminantes más habituales que podemos encontrar en los efluentes provenientes de la industria láctea, es un líquido de color amarillo verdoso y tiene un sabor ligeramente ácido, con un pH de 5 – 6.

“Se estima que a partir de 10 litros de leche de vaca se puede producir de 1 a 2 kg de queso y un promedio de 8 a 9 kg de suero. Al representar cerca del 90% del volumen de la leche, contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de ésta, el 95% de lactosa (azúcar de la leche), el 25% de las proteínas y el 8% de la materia grasa de la leche. En efecto, Una industria quesera media que produzca diariamente 40,000 litros de suero sin depurar genera una contaminación diaria similar a una población de 1, 250,000 habitantes.”⁴

1.4.1 COMPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES.

La composición general de los efluentes varía notablemente en función de los productos que fabrique cada empresa y de sus características de diseño.

“La calidad de las aguas residuales depende en gran medida de la cantidad de leche o suero que pueda ir a parar al efluente ya que su carga orgánica contaminante es muy elevada.”⁵

⁴ <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/27.pdf>

⁵ <http://www.inti.gov.ar/lacteos/pdf/aspectos.pdf>

Tabla 1.4-1 Principales vertidos generados en industrias lácteas

Vertido	Origen	Características
Aguas de procesos	Limpieza de equipos e instalaciones	DBO ₅ , DQO, SS, detergentes, grasas y aceites
Disoluciones de limpieza	Esterilización de bobinas	Agua oxigenada
Aguas de refrigeración y calderas	Mantenimiento de calderas	Agua caliente con SS
Aguas residuales sanitarias	---	DBO ₅ , DQO, SS, detergentes y amoníaco
Aguas de regeneración de resinas de intercambio iónico	Tratamiento de aguas de pozo	Acidez y basicidad

Fuente: Fondo Social Europeo, 2000

Los vertidos de la industria láctea contienen residuos de leche, suero, productos de limpieza así como residuos químicos añadidos. Los componentes más habituales son: la grasa de la leche, las proteínas, la lactosa y el ácido láctico, así como también el sodio, el potasio y el calcio en menor cantidad. Estos agentes contaminantes conllevan a un alto contenido de materia orgánica como la DBO₅ y DQO, así como la presencia de SST y SSD.

Las características más comunes en los efluentes líquidos son:

- Alto contenido de materia orgánica disuelta (proteínas) DBO₅ alta.
- Presencia de aceites y grasas
- Variaciones importantes del pH (5- 11)
- Variaciones de temperatura (purgas de aguas de refrigeración)
- Niveles elevados de Nitrógeno y Fósforo (productos de limpieza)
- Conductividad elevada (cloruro sódico del salado de quesos)

“El agua residual proveniente de la industria láctea, tiene una contaminación de tipo Orgánica y Biodegradable (lactosa → ácido láctico), la cual tiende a acidificarse y fermentarse, aumentando considerablemente la DBO₅.”⁶

1.4.2 COMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS LÁCTEOS

La variedad de productos y los métodos de producción, hace que las aguas residuales de la industria láctea tengan características muy variables, ya que según el producto que se elabore se afecta considerablemente la carga contaminante.

Tabla 1.4-2 Composición de DBO₅ aproximadas de diversos productos lácteos por cada 100 gramos

Producto	Grasa (g)	Proteínas (g)	Lactosa (g)	Sales (g)	DBO ₅ (ppm)
Leche desnatada	0.2	3.1	4.7	0.6	64260
Leche semidesnatada	1.0	3.0	4.0	0.7	75040
Leche entera	3.5	3.0	4.5	0.7	91200
Queso fresco	25	24	1.0	3.0	476200
Suero de quesería	0.3	0.9	4.8	0.6	43700
Mantequilla	85	0.5	0.7	0.1	766200
yogur	3.0	3.5	4.0	0.7	88750

Fuente: www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf

⁶ <http://www.inti.gov.ar/lacteos/pdf/aspectos.pdf>

1.4.3 ALGUNOS PROCESOS GENERADORES DE EFLUENTES LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA LÁCTEA.

Recepción de la leche: Los efluentes generados en la limpieza de los sitios de almacenamiento contienen gran cantidad de grasa, que es provocado por el desnatado de la leche.

Estandarización de la leche: En este proceso se suelen producir efluentes con alto contenido de grasa. Se lo realiza mediante el uso de desnatadoras centrífugas.

Tratamiento térmico: En los tratamientos térmicos se suelen producir depósitos de proteínas que quedan adheridos a las superficies de los intercambiadores de calor y que posteriormente deben ser arrastrados por las limpiezas químicas.

Producción de queso: El efluente que más se genera en la producción de quesos es sin duda el lactosuero (por cada 10 L de leche se producir de 2 kg de queso y 6 L de lactosuero), contienen gran cantidad de lactosa y las proteínas del suero lácteo (50% de nutrientes del producto inicial). El vertido del lactosuero de forma directa a un cauce receptor puede provocar un enorme incremento de la DBO₅. En el proceso de salado también se genera efluentes líquidos, aunque en este caso con escasa materia orgánica y gran cantidad de sales.

Producción de mantequilla: El residuo más contaminante es el suero de mantequerías o mazada, rico en proteínas y lactosa.

Transpone de los productos lácteos líquidos: Cuando en un circuito se ha terminado de enviar un producto, se produce manual o automáticamente un empuje con agua para la eliminación de los restos de dicho producto, con lo cual se crea una pequeña zona de mezcla agua-producto.

Limpieza de circuitos y equipos: En el lavado de los materiales y equipos se suele utilizar agua a altas temperaturas, algunos productos químicos de limpieza, así como detergentes y desinfectantes. Los productos químicos utilizados para el empuje de los restos de leche y productos lácteos son: La sosa diluida 2-3%, a 80 °C de esta forma se eliminan las grasas por saponificación mediante arrastre. El ácido nítrico al 1-2%, a 60 °C, que disuelve la materia orgánica principalmente de origen proteico. Para el empuje final se utiliza grandes cantidades de agua. El uso de ácido nítrico y sosa provoca que los vertidos tengan valores de pH muy variados, que pueden oscilar desde 5 hasta 10.5.

1.4.4 GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH

Producción de leche pasteurizada

- Derrames de tanques de almacenamiento.
- Rebose de tanques.
- Derrames y fugas en conducciones.
- Depósito en las superficies de equipos.
- Impurezas/grasas filtradas luego de su recepción.
- Derrames por envases dañados.
- Fallos en la línea de envasados.
- Operaciones de limpieza

Producción de queso

- Derrames de tanques de almacenamiento.
- Pérdidas en las cubas de cuajado.
- Rebose de los moldes.

- Separación incorrecta del suero del queso.
- Operaciones de limpieza.

El consumo de agua aproximado por volumen de producto elaborado es el siguiente:

(Fondo social europeo, 2000).

- Leche: 3.5 litros de agua/litro de leche.
- Quesos: 8 litros de agua/litro de leche.
- Mantequilla: 3 litros de agua/litro de leche.

Tabla 1.4-3 Generación de efluentes en la industria láctea.

Producción (L leche/d)	Caudal (m ³ /d)	Carga (kg DBO ₅ /d)	Pobl _{equiv} (habitantes)
5000	10 – 30	30 - 90	500 - 1500
10000	20 – 60	60 - 180	1000 - 3000
50000	100 – 300	300 - 900	5000 - 15000

Fuente: <http://www.inti.gov.ar/lacteos/pdf/aspectos.pdf>

Tabla 1.4-4 Características de los efluentes líquidos: suero

Producción (L leche/d)	Caudal (L/d)	Carga (kg DBO ₅ /d)	Pobl _{equiv} (habitantes)
5000	4000	140	2333
10000	8000	280	4666
50000	40000	14000	23333

Fuente: <http://www.inti.gov.ar/lacteos/pdf/aspectos.pdf>

1.5 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

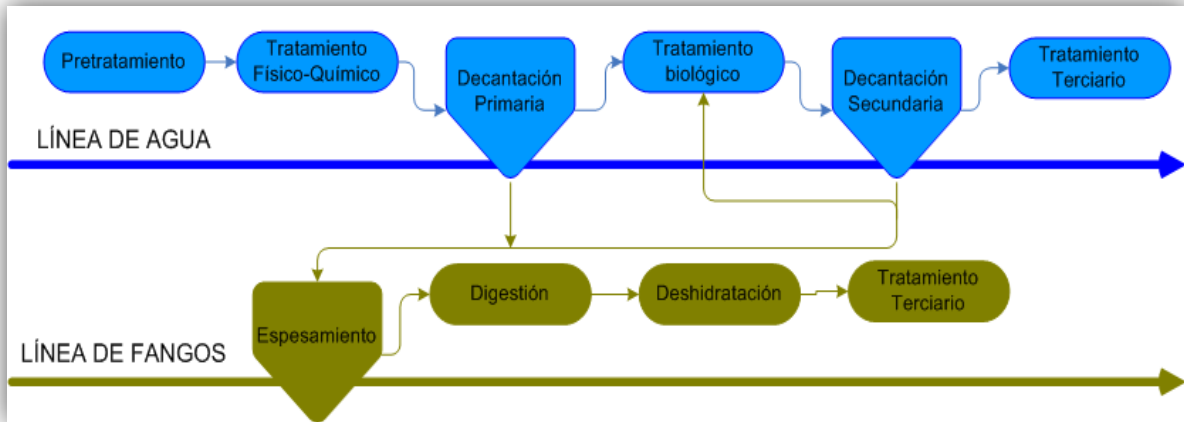
“El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o rehusó.”⁷

1.5.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales consisten generalmente en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como objeto reducir la concentración de los contaminantes, esta operación depende de las características del efluente a tratar y el grado de purificación requerido según los niveles de contaminación permitida por las normativas locales

⁷https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales

Figura 1-2 Diagrama de un sistema de tratamiento de aguas residuales



1.5.2 NIVELES DE TRATAMIENTO

Los niveles utilizados para el presente diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales son: primario, secundario y terciario.

1.5.2.1 TRATAMIENTOS PRIMARIOS

El tratamiento primario tiene como objetivo remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar como: los sólidos Sedimentables, los sólidos suspendidos o aquellas sustancias que pueden flotar en el agua como las grasas y aceites. Mediante procesos como decantación, floculación-coagulación y precipitación.

1.5.2.1.1 SEDIMENTACIÓN

“Es una operación física que consiste en hacer decantar las partículas más densas presente en el agua residual en el fondo de un sedimentador, aprovechando la fuerza de la gravedad. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a

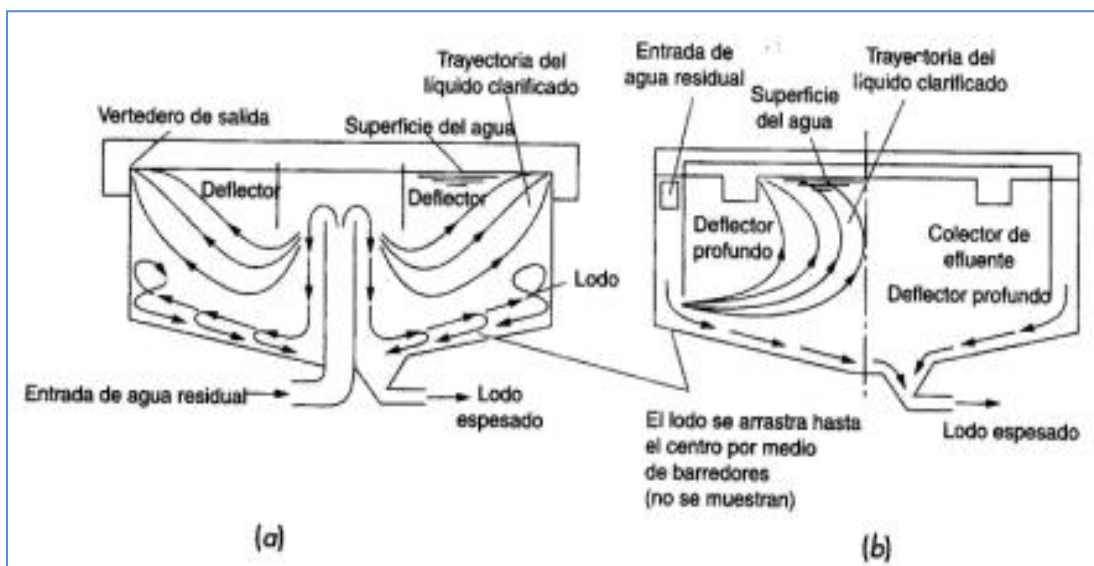
separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación. A esta operación también se lo denominar decantación.”⁸

Las partículas grandes y densas, como las arenas no son muy habituales en aguas industriales, pero si podemos encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario realizar un proceso de coagulación-floculación previa para hacer más eficaz esta operación.

La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.)

Tanques de sedimentación circular.

Figura 1-3 Tanques de sedimentación circular



Alimentación central (a). Alimentación perimetral (b)

⁸RODRÍGUEZ A. y otros, Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales

“Son los más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejar del centro del sedimentador. Esta forma de operar es adecuada cuando la sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas, y por lo tanto aumenta su velocidad de sedimentación.”⁹

1.5.2.1.2 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

“Este proceso consiste en la adición de ciertos reactivos químicos los cuales van a desestabilizar la materia en suspensión que puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ($10^{-6} - 10^{-9}$ m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre ellas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta. Esta operación se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas, industriales y potables.”¹⁰

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa, entre los cuales tenemos:

Sales de Fe^{3+} : Pueden ser Cl_3Fe o $Fe_2(SO_4)_3$

Sales de Al^{3+} : Suele ser $Al_2(SO_4)_3$ o policloruro de aluminio.

⁹RODRÍGUEZ A. y otros, Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales

¹⁰RODRÍGUEZ A. y otros, Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales

Polielectrólitos: Pueden ser polímeros naturales o sintéticos (no iónicos, aniónicos o catiónicos).

Tabla 1.5-1 Características de algunos reactivos coagulantes

Coagulante	Dosis (mg/L)	pH optimo	Aplicaciones
Cal	150-500	9-11	Eliminación de coloidales (1)
$Al_2(SO_4)_3$	75-250	4.5-7	Eliminación de coloidales (1)
FeCl ₂	35-150	4-7	Eliminación de coloidales (2)
FeCl ₃	70-200	4-7	
FeSO ₄ + 7H ₂ O			
Polímero catiónico	2-5		Eliminación de coloidales (3)
Polímero anicónico y no iónico	0.25-1.0		Ayudante de floculación y sedimentación

- Eliminación de coloides y de fósforo. Agua con baja alcalinidad y alta concentración de fósforo(1)
- Eliminación de coloides y de fósforo. Agua con alta alcalinidad y baja concentración de fósforo(2)
- Eliminación de coloides. Ayudante con coagulantes metálicos (3)

Fuente: RODRÍGUEZ A. y otros, Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales

1.5.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El objetivo del tratamiento secundario es disminuir la mayor cantidad del contenido de materia orgánica. El tratamiento es de tipo biológico se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias). Los microorganismos convierten la materia

orgánica degradable en CO₂, H₂O y nuevo material celular. Los ingredientes básicos en este proceso son los microorganismos, la materia orgánica biodegradable y un buen suministro de oxígeno, además tiene incidencia la temperatura y el pH.

“**Sistemas aerobios:** La presencia de O₂ hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias.”¹¹

1.5.2.2.1 LAGUNAS AIREADAS

“Una laguna aireada es un depósito donde el agua residual está en permanente flujo continuo sin recirculación de sólido, tiene como función principal la conversión de la materia orgánica degradable en CO₂, H₂O y nuevo material celular. El oxígeno es aportado mediante aireadores superficiales o con sistemas de difusión de aire. La turbulencia creada por los sistemas de aireación se utiliza para mantener en suspensión el contenido del depósito.”¹²

Lagunas de Mezcla completa: Las lagunas aireadas son estanques artificiales, con profundidades típicas entre 2 y 4,5 m, con cierta frecuencia son revestidos con un protector de plástico para minimizar la posibilidad de infiltraciones y reducir el efecto de la turbulencia generado por la inducción de aire.

“En las lagunas aireadas, el oxígeno requerido por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica, se provee artificialmente a través de aireadores mecánicos superficiales, los que además suministran la mezcla necesaria para establecer un buen

¹¹ RODRÍGUEZ A. y otros, Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales

¹² METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización.

contacto entre las tres fases presentes: gas, líquido y sólido (Cumplen 2 funciones: suministrar el oxígeno necesario y mezclar).”¹³

1.5.2.2 TRATAMIENTOS DE LODOS

Uno de los principales problemas en el tratamiento de aguas y de aguas residuales es el relacionado con el tratamiento y disposición de lodos.

Los sólidos primarios gruesos y los biosólido secundarios acumulados en un proceso del tratamiento de aguas residuales se deben tratar y disponer de una manera segura y eficaz. Este material a menudo tiene alto contenido de agua, su deshidratación y disposición final pueden representar un alto porcentaje del costo del tratamiento del agua.

Para disponer los lodos de una forma segura estos se espesan (deshidratación) para reducir los volúmenes para la disposición final. Los procesos para reducir el contenido de agua incluyen lagunas en camas de sequía para producir una torta que puede ser enterada o incinerada.

1.5.2.3 TRATAMIENTOS TERCIARIOS

“Los tratamientos terciarios permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados. La eliminación de materia orgánica y coloidal presente en los efluentes depurados, puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos físico-químicos. Para la

¹³ <http://www.guiambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-lagunas-aireadas.html>

eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos.”¹⁴

1.5.2.3.1 DESINFECCIÓN.

“Con la desinfección se pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades, el agua es uno de los principales medios por los que se transmiten los organismos causantes de enfermedades, pueden ser bacterias, virus, protozoos, etc. La desinfección se hace imprescindible para la protección de la salud pública, si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si se pretende reutilizar el agua.”¹⁵

La utilización de desinfectantes persigue tres finalidades: producir agua libre de patógenos u organismos vivos, evitar la producción de subproductos indeseables y mantener la calidad bacteriológica.

Los reactivos más utilizados son:

- El cloro y sus compuestos,
- El bromo y el cloruro de bromo
- El yodo
- El ozono

¹⁴ alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf

¹⁵ RODRÍGUEZ A. y otros, Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales

1.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

1.6.1 CAUDAL DEL DISEÑO

El conocimiento del volumen del efluente por unidad de tiempo es un dato fundamental para diseñar y proyectar un sistema de tratamiento.

Para determinar el caudal medio se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_r = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 1.6.1-1}$$

Dónde:

- Q_r = caudal del agua residual (m^3/s)
- V = volumen del agua residual generado (m^3)
- t = tiempo de trabajo (s)

Para calcular el caudal de diseño se emplea el factor de seguridad (FM), se asume valores que van de 10% a 30%

$$Q = Q_r + FM \quad \text{Ecuación 1.6.1-2}$$

Dónde:

- Q = caudal (m^3/s)
- Q_r = caudal medio (m^3/s)
- FM= factor de Mayorización o seguridad

1.6.2 MEZCLA

La mezcla es una operación unitaria que se realiza con el fin de: Tener una mezcla completa de aditivos químicos, La mezcla de fluidos en reactores y tanques de almacenamiento, Para la floculación, etc.

1.6.2.1 MESCLADORES ESTÁTICOS.

Los mezcladores estáticos son equipos de acción giratoria, proporcionan cambios repentinos en la velocidad del fluido e inmersiones momentáneas. Por lo general, en estos procesos se utiliza mezcladores de paletas, las cuales giran lentamente sobre su eje, teniendo gran acción sobre el fluido y así conseguir una mezcla.

1.6.2.2 DIMENSIONAMIENTO

En le sedimentador primario se va a realizar un proceso de coagulación-floculación par el cual es necesario un mesclador cuyas características de operación son:

1.6.2.2.1 POTENCIA DISIPADA EN LA MEZCLA.

Cuanto mayor sea la energía suministrada en un fluido mayor será la turbulencia generada y, por lo tanto se tendrá una mezcla perfecta.

La potencia disipada se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = G^2 * \mu * V \quad \text{Ecuación 1.6.2-1}$$

Dónde:

- P = potencia necesaria (Kw)
- G= gradiente medio de velocidad de fluido (s⁻¹)

- μ = viscosidad dinámica (N.s/m²)
- V= volumen del sedimentador (m³)

Tabla 1.6-1 Valores usuales de gradiente de velocidad G y tiempos de retención de los procesos de tratamiento de aguas.

Proceso		Tiempo de retención	Valores de G (s ⁻¹)
Mezcla	Operaciones comunes en la mezcla rápida de AR	10-30 s	500-1500
	Mezcla rápida para un contacto inicial y de reactivo químico	≤ 1 s	1500-6000
Floculación	Procesos comunes de floculación empleado en el tratamiento de AR	30-60 min	50-100
	Floculación en procesos de filtración directa	2-10 min	25-200

Fuente: CRITES-TCHOBANOGLIOUS

1.6.2.2.2 GRADIENTE DE VELOCIDAD DE FLUIDO

$$G = 0.25 * n^{1.25} \quad \text{Ecuación 1.6.2-2}$$

Dónde:

- G= gradiente medio de velocidad del fluido (s⁻¹)
- n = velocidad de rotación (rpm)

1.6.3 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

En los tanques de sedimentación primaria se pueden eliminar SST entre el 50 y 70 % y de la DBO₅ entre el 25 y 40%. Además se puede considerar la remoción de la DQO es entre 30 y 40 %, de nitrógeno 10% y de fosforó 20 %, si son diseñados y operados correctamente.

Tabla 1.6-2 Criterios de diseño de tanques circulares de sedimentación primaria.

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Tiempo de retención (h)	1.5 -2.5	2.0
Carga superficial (m ³ /m ² h)	-----	-----
Gasto medio	32 - 48	-
Gasto máximo ext.	80 -120	100
Carga sobre vertederos (m ³ /m ² d)	125 - 500	250
Profundidad (m)	3 - 5	4.5
Diámetro (m)	3.6 - 60	12 - 45
Pendiente de fondo (mm/m)	60 - 160	80
Velocidad de arrastre (rpm)	0.02 - 0.05	0.03

Fuente: Metcalf & Eddy

1.6.3.1 DIMENSIONAMIENTO

1.6.3.1.1 Área del sedimentador:

Tabla 1.6-3 Valores recomendados de la carga superficial

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

Fuente: Metcalf & Eddy

Según Metcal & Eddy para determinar el área superficial del sedimentador, se utiliza la siguiente expresión:

$$CS = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 1.6.3-1}$$

Despejando de la ecuación anterior tenemos:

$$A = \frac{Q}{Cs} \quad \text{Ecuación 1.6.3-2}$$

Dónde:

- Carga= carga superficial (m³/m²*día)
- Q= caudal (m³/d)
- A= área (m²)

1.6.3.1.2 Radio del sedimentador.

Para determinar el radio se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ecuación 1.6.3-3}$$

A si tenemos:

$$r = \sqrt{A/\pi} \quad \text{Ecuación 1.6.3-4}$$

Dónde:

- r = radio (m)
- A = area (m²)

1.6.3.1.3 Diámetro del sedimentador:

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\phi = 2 * r \quad \text{Ecuación 1.6.3-5}$$

Dónde:

- ϕ = diámetro (m)

1.6.3.1.4 Altura del sedimentador

La altura del sedimentador se obtiene de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{H} \quad \text{Ecuación 1.6.3-6}$$

Entonces:

$$H = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 1.6.3-7}$$

Dónde:

- H= altura (m)
- V= volumen del sedimentador (m³)
- A = área (m²)

1.6.3.1.5 Tiempo de retención hidráulico:

Los tanques de sedimentación primaria se proyectan para un tiempo de retención entre 1.5 a 2.5 horas para el caudal medio. Los tanques que proporcionan tiempos de retención menores (0.5 a 1h), con menor eliminación de sólidos suspendidos, se usan en ocasiones como tratamiento primario previo a las unidades de tratamiento biológico.

El tiempo de retención se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Tr} = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 1.6.3-8}$$

Dónde:

- Tr= tiempo de retención (d)
- V=volumen (m³)
- Q= caudal (m³/s)

1.6.3.1.6 Velocidad de arrastre:

En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

La velocidad crítica viene dada por la siguiente ecuación desarrollada por **Camp**, a partir de estudios realizados por **Shields (1936)**

$$V_h = \left(\frac{8k(s-1)g*d}{f} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1.6.3-9}$$

Dónde:

- V_h = velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas (m/s)
- k = constante que depende del tipo de material arrastrado.
- S = peso específico de las partículas.
- g = aceleración de la gravedad.
- d = diámetro de las partículas.
- f = factor de fricción de Darcy- Weisbach.

Los valores más comunes de k son 0.04 para arena unigranular, 0.06 para materia más agregada. El factor de **Darcy-Weisbach** depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo del número de Reynolds, sus valores típicos están entre 0.02 y 0.03. Tanto k y f , son constantes a dimensionales.

1.6.3.2 DESEMPEÑO DE LOS SEDIMENTADORES

1.6.3.2.1 Remoción teórica de DBO_5 y SST

La eficiencia en la remoción de DBO_5 y SST en tanques de sedimentación primaria, en función de la concentración del afluente y el tiempo de retención se puede obtener por medio de curvas que puede modelarse matemáticamente como una hipérbola regular usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{Tr}{a+b*t} \quad \text{Ecuación 1.6.3-10}$$

Dónde:

- R=porcentaje de remoción de DBO₅ o SST esperado (%)
- Tr = tiempo nominal de retención (h)
- a,b= constantes empíricas

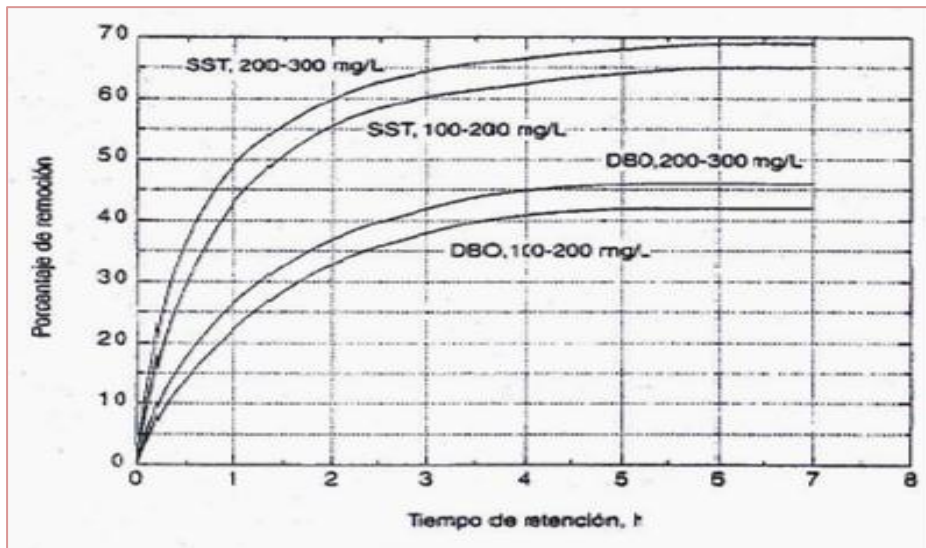
De acuerdo a Crites y Tchobanoglous (2000), las constantes a y b pueden tomar los siguientes valores a 20°C

Tabla 1.6-4 Valores de las constantes empíricas a y b.

VARIABLE	a	B
DBO ₅	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: Crites y Tchobanoglous

Figura 1-4 Remoción de DBO₅ y SST en tanques de sedimentación primaria



Fuente: Crites y Tchobanoglous

1.6.4 LAGUNAS AIREADA AERÓBICAS DE MEZCLA COMPLETA

Las lagunas aireadas de mezcla completa tienen una eficiencia de remoción de DBO₅ del 90%, de DQO del 80%, SST del 60%, de nitrógeno total del 50% y de fósforo del 60%.

Para el proceso secundario se dimensionará un estanque de forma rectangular y su profundidad será de 1.5 m

1.6.4.1 Dimensionamiento.

Tabla 1.6-5 Parámetro de diseño del proceso de laguna aireada de mezcla completa

Proceso	Tr=Trc (h)	F/M (mg DBO ₅ aplicada/mg SSVLM * d)	Profundidad (m)
Mezcla completa	3 - 5	0.2 - 0.6	1.5 - 4.5

Fuente: Metcalf & Eddy

1.6.4.1.1 Tiempo de retención hidráulica

$$Tr = \frac{1}{Y \cdot K \cdot S_e - K_d} \quad \text{Ecuación 1.6.4-1}$$

Dónde:

- Tr = tiempo de retención hidráulica (d)
- Y= coeficiente de producción de lodos (0.5-0.8 mg SSV/mg DBO₅)
- K= tasa constante de primer orden de remoción de DBO₅ (0.03-0.10 L/mg*d)
- S_e= concentración de DBO₅ del efluente (mg/L)
- K_d= tasa constante relativa a la respiración endógena (0.05-0.25 d⁻¹)

1.6.4.1.2 Relación alimentación/microorganismos (F/M)

La relación alimentación/microorganismos, representa la masa de sustrato aplicada diariamente, contra la masa de sólidos suspendidos (microorganismos) en el tanque de aireación, se puede definir como:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{Tr \cdot X_{v,a}(Tr)} \quad \text{Ecuación 1.6.4-2}$$

Dónde:

- F/M= relación alimentación – microorganismos (d⁻¹)
- S₀= concentración de DBO₅ del afluente (mg/L)
- X_{v,a}(Tr)= concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente (mg/L)

1.6.4.1.3 Concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) en la masa líquida de la laguna y en el efluente

$$X_{v,a(Tr)} = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + K_d * Tr} \quad \text{Ecuación 1.6.4-3}$$

Dónde:

- $X_{v,a(Tr)}$ = Concentración de (SSV) en la masa líquida de la laguna y en el efluente (mg/L)

1.6.4.1.4 Concentración real de DBO₅ en el efluente

$$S'e = S_e + 0.54X_{v,a(Tr)} \quad \text{Ecuación 1.6.4-4}$$

Dónde:

- $S'e$ = concentración real de DBO₅ en el efluente (mg/L)

1.6.4.1.5 Rendimiento en la depuración

Es la relación entre la masa de la materia orgánica eliminada y la del efluente que entra en la laguna de aireación. Se expresa en porcentaje de eliminación:

$$E = \frac{S_0 - S'e}{S_0} * 100 \quad \text{Ecuación 1.6.4-5}$$

Dónde:

- E = rendimiento o reducción real de la DBO₅ (%)

1.6.4.1.6 Volumen de la laguna

$$V = Q * Tr \quad \text{Ecuación 1.6.4-6}$$

Dónde:

- V= volumen de la laguna (m³)

1.6.4.1.7 Relación largo-ancho

La relación largo- ancho oscila entre 1:3 y 1:4, cuando su paredes son inclinadas pueden tener pendientes de 2.5:1 a 3.5:1.

1.6.4.1.8 Producción observada (Y_{obs})

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1+K_d * \theta_c} \quad \text{Ecuación 1.6.4-7}$$

Dónde:

- Y_{obs}= producción observada (mg SSV/mg DBO₅)
- θ_c =edad de los lodos (d)

1.6.4.1.9 Producción de fangos

La producción diaria de fangos que hay que purgar se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$P_x = Y_{obs} * Q * (S_0 - S'e) * 10^{-3} \quad \text{Ecuación 1.6.4-8}$$

Dónde:

- P_x = producción diaria neta de fangos (SSV Kg/d)

1.6.4.1.10 Requerimiento de Oxígeno

$$WO_2 = a * (S_0 - S_e) * Q + b * X_{v,a(Tr)} * V \quad \text{Ecuación 1.6.4-9}$$

Dónde:

- WO_2 = requerimiento de oxígeno (gO₂/d)
- a = fracción del sustrato removido utilizado para la producción de energía (0.3 y 0.63 KgO₂/Kg DBO₅)
- b = oxígeno necesario para la respiración endógena (0.55 y 0.28 KgO₂/Kg SSV*d)

1.6.4.2 Difusor

En un sistema de lagunaje los microorganismos consumen oxígeno a medida que consumen la materia orgánica, por lo que es necesario emplear un sistema que proporcione la cantidad adecuada de oxígeno. Comúnmente se usan difusores porosos ya que la eficiencia de transferencia de oxígeno es alta, hay un sin número de formas de los difusores y pueden ser de placa, domo, disco y de tubo. Para que la aireación sea uniforme en todo el tanque, se recomienda instalar difusores de disco o de domo en forma de malla en la laguna de aireación.

1.6.4.2.1 Tasa de transferencia total de oxígeno

$$N = N_0 * \left[\alpha \left(\frac{\beta * S'_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) * (1.024^{(T-20)}) \right] \quad \text{Ecuación 1.6.4-10}$$

Dónde:

- N = tasa de transferencia total de oxígeno ($\text{KgO}_2/\text{Kw}\cdot\text{h}$)
- N_0 = tasa transferencia de oxígeno en condiciones de referencia (20°C y oxígeno disuelto igual a cero, 1.5 y 2.0 $\text{KgO}_2/\text{Kw}\cdot\text{h}$)
- α = factor de correlación para la transferencia de oxígeno para la purga (0.4 y 0.8)
- β = factor de corrección para la salinidad y tensión superficial (0.9 y 0.98)
- C_L = concentración de oxígeno disuelto (según **Aceirvala 1937** y **Mara 1976** es de 0.5 a 2.0 mg/L)
- C'_{sw} = concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura en un tanque de aireación a una temperatura y altura (mg/L)
- C_{st} = valor de saturación de oxígeno en el agua pura (9.17 mg/L)
- T = temperatura de funcionamiento ($^\circ\text{C}$)

1.6.4.2.2 Correlación de C_{sw}

$$C'_{sw} = C_{sw} * \frac{P-P_v}{760-P_v} \quad \text{Ecuación 1.6.4-11}$$

Dónde:

- P = presión atmosférica (mmHg)
- P_v = presión de vapor de agua saturada (mmHg)

1.6.4.2.3 Potencia total necesaria

$$P_t = \frac{W_{O_2}}{24*N} * 10^{-3} \quad \text{Ecuación 1.6.4-12}$$

Dónde:

- P_t = potencia total necesaria (Kw)

1.6.4.2.4 Potencia unitaria de aireación

$$P = \frac{Pt}{V} \quad \text{Ecuación 1.6.4-13}$$

Dónde:

- P= potencia unitaria de aireación (Kw/m³)

1.6.5 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

El sedimentador secundario es parte fundamental del proceso de Lagunas aireada aeróbicas de mezcla completa, cumple con la función de clarificar el efluente, separando el agua tratada del lodo sedimentado.

1.6.5.1 DIMENSIONAMIENTO

Tabla 1.6-6 Información básica para el diseño de sedimentadores circulares secundarios.

Parámetro	Intervalo	Valor usual
Profundidad (m)	3-7	5
Diámetro (m)	3-60	12-45
Pendiente de fondo(m/m)	0.60-0.17	0.08
Velocidad del barredor (rpm)	0.02-0.05	0.03

Fuente: CRITES-TCHOBANOGLOUS

1.6.5.1.1 Área del sedimentador secundario

Tabla 1.6-7 Tasa superficial para sedimentación secundaria

Tratamiento	Tasa superficial (m ³ /m ² *d)	
	Q medio	Q máximo
Tratamiento biológico (excepto aireación extendida)	16 - 33	41 - 49

Fuente: Metcalf & Eddy

Para determinar el área superficial del sedimentador se obtiene utilizando la siguiente expresión según Metcalf & Eddy

$$A = \frac{Q}{CS} \quad \text{Ecuación 1.6.5-1}$$

Dónde:

- CS= carga superficial (m³/m²*d)
- Q= caudal (m³/s)
- A= área (m²)

1.6.5.1.2 Radio del sedimentador

$$r = \sqrt{A/\pi} \quad \text{Ecuación 1.6.5-2}$$

Dónde:

- r= radio (m)
- A= área (m²)

1.6.5.1.3 Diámetro del sedimentador:

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\phi = 2 * r \quad \text{Ecuación 1.6.5-3}$$

Dónde:

➤ ϕ = diámetro (m)

1.6.5.1.4 Tiempo de retención hidráulica.

El tiempo de retención se calcula con la misma ecuación que se utiliza para el sedimentador primario:

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 1.6.5-4}$$

El 25% del diámetro es el reparto central

$$R_{\text{central}} = \phi * 0.25 \quad \text{Ecuación 1.6.5-5}$$

1.6.5.1.5 Profundidad (altura)

La profundidad se refiere a la altura de la pared vertical del sedimentador. En Metcalf

& Eddy se recomienda valores entre 3.6 y 6.0 m.

$$H = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 1.6.5-6}$$

Dónde:

- V= volumen del sedimentador (m³)
- P= profundidad (m)

1.6.5.1.6 La altura de reparto se toma ¼ de la profundidad:

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} * P \quad \text{Ecuación 1.6.5-7}$$

Dónde:

- H_{reparto}= altura de reparto (m)

1.6.6 CARGA SOBRE VERTEDEROS

Para poder determinar la carga sobre el vertedero se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{Q}{\phi * \pi} \quad \text{Ecuación 1.6.6-1}$$

Dónde:

- C_{vertedero} = carga sobre el vertedero (m³/m²*d)

1.7 NORMATIVA AMBIENTAL

Los objetivos principales de las normas son: proteger, preservar, conservar y mejorar la calidad de las fuentes de suministro de agua a la población, los cuerpos naturales y

artificiales, tanto superficiales como subterráneas, para su correcta depuración y puedan ser asimilados de forma natural.

Específicamente, establecen los requisitos que deben cumplir las personas físicas o jurídicas responsables de descargas de aguas residuales a los cuerpos hídricos receptores.

1.7.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

En el Art. 264 y 415 se menciona acerca del tratamiento de aguas residuales, obligando a un adecuado manejo de desechos líquidos de manera que no sea perjudicial para otras redes de agua, logrando mantener un ambiente sano conservando la calidad del agua Art. 276.

1.7.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL

Mediante un desarrollo sustentable Art. 7 se pretende no comprometer los recursos disponibles de la naturaleza, aplicando estrategias de protección y manejo ambiental Art. 18, cuyas medidas adoptadas para el control de impactos negativos son sometidos a evaluación por el Ministerio de Ambiente previa a su obtención de la licencia ambiental.

1.7.3 TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULAS)

El libro VI Anexo 1 trata sobre la calidad ambiental y descarga de efluentes, tiene como objeto la “prevención y control de la contaminación ambiental en lo que se refiere al agua”

En la tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, los cuales son la base para la caracterización físico-química de la muestra compuesta.

Tabla 1.7-1 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetro	Expresado como	Unidades	Límite máximo permisible
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Coliformes fecales	Nmp/100ml		Remoción > 99,9%
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	250
Sólidos Sedimentables	SSD	ml/L	1,0
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/L	100
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1 000
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0

Fuente: Libro VI, Anexo I. "TULAS"

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 METODOLOGÍA

La recopilación de datos experimentales se realizó, con parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario Libro VI, Anexo I, Tabla 12, controlando una serie de indicadores y variables de proceso, para así establecer el tratamiento y el método adecuados, así como las condiciones óptimas para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la planta de lácteos ESPOCH y disminuir la carga orgánica contaminante que conlleva este tipo de efluentes. Para esto, se tomó 2 muestras compuestas representativas, las cuales, fueron llevadas al Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias, para su análisis físico químico y microbiológico, mismo que indican el grado de contaminación al cual están sujetas las aguas a tratar

2.1.1 MEDICIÓN DE CAUDALES

Para determinar el caudal del agua residual se realizara en base a la cantidad de materia prima que se procesa, los productos que se elaboran y el tiempo de trabajo, tomando en cuenta que el 90% del consumo de agua en la industria láctea se genera como agua residual.

2.1.2 MUESTREO Y CARACTERIZACION DEL AGUA.

El muestreo es una herramienta indispensable, se lo realiza con el fin de conocer la composición del efluente generado y de determinar el tipo de tratamiento a aplicar.

El tipo de muestreo a utilizar en el presente trabajo de investigación es por el método compuesto, en las dos caja de retención que posee la planta de lácteos ESPOCH, para la toma de muestras, y realizar las respectivas caracterizaciones y también del tratamiento para normar su debida reutilización.

Las muestras fueron tomadas durante 2 días para caracterizar las mismas, se tomaron durante las descargas de cada uno de los procesos más representativos, en un horario de 7 horas de trabajo debido a que la materia prima es baja (350-500 litros de leche por día).

En primer lugar se tomó un volumen de 6 litros de aguas residuales que fueron destinados para el análisis microbiológico y físico-químicas. Se tomaron varias consideraciones para el muestreo, con el objeto de que las muestras sean representativas y analizadas correctamente.

Equipos y materiales:

- ❖ 1 envases plásticos de 6 litro de capacidad.
- ❖ Un recipiente de un litro
- ❖ Un balde de 20 litros de capacidad
- ❖ Termómetro
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Etiquetas.
- ❖ Un marcador permanente.

Procedimiento:

Se tomó un litro de agua residual de cada uno de los procesos donde se produce efluentes y se registró los siguientes datos:

- ❖ Nombre del punto de muestreo.
- ❖ Hora de toma de la muestra.

❖ Temperatura.

❖ Apariencia

2.2 METODOS Y TECNICA

2.2.1 MÉTODOS

En el presente proyecto de estudio se aplicara el denominado método experimental, utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción ya que es necesario conocer los hechos más importantes que se dan en el sistema de tratamiento de aguas residuales, es decir las variables que se presentan en el análisis del problema de estudio para poder llegar a un adecuado y optimo diseño de tratamiento y reutilización de los efluentes que genera la planta de lácteos ESPOCH.

2.2.1.1 Método Inductivo

Se analizará los problemas ocasionados por los fluidos de desecho y se buscará sus soluciones y las alternativas que se ajusten a lo que los investigadores y autores de literatura han propuesto.

Para realizar este trabajo de investigación se tomaron las muestras en los desfogue principales de la planta de lácteos ESPOCH durante 2 días en los procesos más representativos, con el objeto de conocer el grado de contaminación del agua residual a tratar, que es el punto de partida para la elección correcta del tratamiento de la misma.

2.2.1.2 Método Deductivo

Se partirá de conocimientos generales y actualizados para encontrar soluciones al problema de aguas residuales de la planta de lácteos ESPOCH. Los análisis Físicos, químicos y biológicos de estos fluentes fueron tabulados, analizados y posteriormente realizar los debidos cálculos de ingeniería, los mismos que ayudaron al dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales. Y así asegura que las propiedades del efluente tratado estén dentro de los parámetros establecidos en el TULAS para que después este afluente sea aprovechado en el mismo proceso o afines.

2.2.1.3 Métodos Experimentales

Se empleará este método para realizar toma de muestras y análisis físicos químicos del agua residual, para luego diseñar un sistema de tratamiento óptimo a partir de datos recolectados en la investigación.

Se utilizara la prueba de jarra y columnas de sedimentación para poder determinar el coagulante óptimo y la dosis necesaria para el diseño del sedimentado primario.

2.2.2 TECNICAS

Los ensayos realizados en el agua, se enmarcan dentro de las normas y técnicas de la APHA / AWWA / WEF, ASTM, EPA, DIN, INEN con la finalidad de asegurar la fiabilidad de los resultados y cumplir con las normas de control de calidad en los análisis y ofrecer resultados técnicamente confiables, por lo que utilizaremos el método analítico.

2.2.2.1 Determinación de Aceites y Grasas (Método 5530-C)

Tabla 2.2-1 Determinación de Aceites y Grasas

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>En la determinación de aceites y grasas no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica, más bien se determina cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en triclorotrifluoroetano.</p>	<p>Ciertos componentes medidos por análisis de aceites y grasas pueden influir en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, si se presentan en cantidades excesivas pueden inferir con los procesos biológicos aerobios y anaerobios y llevan a reducir la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales.</p>	<p>-Embudo de separación -Matraz de destilación -Baño de agua -Papel filtro (diámetro 11 cm)</p>	<p>Tome un volumen de 1ml muestra y marque el nivel de la muestra en la botella. Acidifíquela hasta un pH de 2 o inferior con 5ml de HCl, pásela por un embudo. Enjuague con cuidado la botella de la muestra con 30ml de triclorotrifluoroetano y añada los lavados del disolvente al embudo de separación. Dejar que separe las dos capas y luego drenar la capa del disolvente a través del embudo que contenga el papel filtro humedecido con el disolvente en el matraz de destilación limpio y tarado si no es posible. Si no es posible obtener una capa clara de disolvente añadir 1g de sulfato de sodio y drene. Añádase más sulfato de sodio si es necesario. Hágase dos extracciones con 30ml de disolvente cada vez.</p>	<p>La cantidad de aceites y grasas se determina mediante:</p> $\text{mg de aceite y grasas} / \text{L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Dónde :</p> <p>A= la ganancia total del peso B= peso del matraz tarado menos el residuo calculado.</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.2.2.2 Determinación del pH (Método 4500-B)

Tabla 2.2-2 Determinación del potencial de hidrogeno

Fundamento	Objetivos	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrogeno por mediciones Potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrogeno y otro de referencia.</p>	<p>La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual dependen del pH.</p>	<p>Para lo cual necesitamos:</p> <p>Medidor de pH Electrodo de referencia Vaso de precipitación Agitador Cámara de flujo</p>	<p>Preparación general:</p> <p>Calíbrese el sistema de electrodos frente a las soluciones tampón estándar o con un pH conocido. Tomar un cantidad de agua en un vaso de precipitación agítese, mida el pH.</p>	<p>La escala operativa del pH se utiliza para medir el pH de la muestra y se define como:</p> <p>pH_b = pH asignado al tampón</p> $pH_a = pH_b = \frac{F(E_x - E_s)}{2.303 RT}$ <p>pH_x = pH de la muestra medido potenciométricamente</p> <p>F= Faraday 9,649x10⁴ culombios/mol E_x= muestra fem, V E_s= tampón fem, V R= constante de los gases 8,314julio/(mol.°K) T= temperatura absoluta °K</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.2.2.3 Determinación de la DBO (Método 5210-B)

Tabla 2.2-3 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Consiste en llenar con una muestra hasta rebosar un frasco hermético de un tamaño especificado e incubarlo a temperatura establecida durante 5 días.</p> <p>El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final.</p>	<p>Consiste en llenar con una muestra hasta rebosar un frasco hermético de un tamaño especificado e incubarlo a temperatura establecida durante 5 días.</p> <p>El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final.</p>	<p>Equipo de DBO Botellas de incubación Grasa Tampones de Copa Capsula magnética Probeta graduada Termómetro Embudo.</p>	<p>Caliéntese o enfríe la muestra hasta 2°C de la temperatura de incubación (20°). Usando una probeta graduada limpia vierta 160 ml de la muestra en una botella oscura Coloque una barra magnética para mezclar en cada botella de muestra Añada el contenido de un sobre de Buffer nutritivo para DBO a cada botella para el crecimiento óptimo de las bacterias si las características de la muestra original lo requiera. Aplicar grasa en la boca de cada botella para sellarla con el tampón de copa. Usando un embudo adicione el contenido de un sobre de LiOH en el tampón de copa de cada muestra, coloque las botellas en el equipo.</p> <p>Coloque el equipo en la incubadora o estufa ajustando la temperatura a 20 ± 2 °C.</p> <p>Prenda el equipo. Seleccione la duración de la prueba.</p>	<p>Cuando el agua de la disolución no está sembrada:</p> $ROB5 = \frac{(D1 - D2)}{P}$ <p>Cuando el agua de disolución está sembrada:</p> $ROB5 = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2) * f}{P}$ <p>Dónde: D1= OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación mg/L D2= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C mg/L P= fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada B1= OD del control de simiente antes de la incubación mg/L B2= OD del control de simiente después de la incubación mg/L f = proporción de la simiente de la muestra diluida con respecto al control de la simiente.</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.2.2.4 Determinación de Sólido Suspendido (Método 2540-D)

Tabla 2.2-4 Determinación de Sólido Suspendido

Fundamento	Objetivos	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante. El aumento de peso representa los sólidos totales en suspensión.</p>	<p>Los sólidos son materiales suspendidos, o disueltos en aguas limpias o residuales, los cuales afectan negativamente a la calidad del agua o a sus suministros de varias maneras.</p>	<p>Para lo cual necesitamos:</p> <p>Capsulas de porcelana de 90mm de diámetro Desecador Papel filtro Horno desecador Balanza analítica</p>	<p>Calentar: la capsula limpia en la estufa a 103 a 105 °C durante 1hora la conservamos en el desecador y la pesamos inmediatamente antes de usarla</p> <p>Análisis de la muestra:</p> <p>Coloque un aparato de filtrado, filtre un volumen determinado de la mezcla, lave la mezcla con agua destilada, el filtro colóquelo en una placa de aluminio o crisol, séquelo en la estufa a 103-105°c durante 1h, enfríelo en un desecador hasta que tenga un peso constante.</p>	<p>Para la determinación de los sólidos totales utilizamos:</p> $\text{mg de solidos totales susp/L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Dónde:</p> <p>A= peso de residuo seco + placa mg B= peso de la placa en mg</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.2.2.5 Determinación de Coliformes Fecales (Norma INEN 1108)

Tabla 2.2-5 Determinación de Coliformes Fecales

Fundamento	Objetivos	Materiales	Procedimiento
<p>El agua contiene bacterias cuyas necesidades nutritivas y de temperatura óptima de desarrollo son variables. Los estreptococos fecales son:</p> <p>Bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre</p> <p>Ordinariamente esta determinación se efectúa sembrando en medio sólido un volumen conocido de la muestra de agua. Se incuba durante un tiempo y a determinadas temperaturas y se cuenta el número de colonias que se obtienen.</p>	<p>Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son generalmente pocos y difíciles de aislar e identificar, por lo cual se prefiere utilizar los Coliformes como organismo indicador de contaminación o en otras palabras como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad.</p>	<p>Cajas Petri Pipetas Autoclave Estufa Disco filtrante Agar de Plata Agua destilada Pinzas Papel filtro Matraz Kitasato Bomba al vacío</p>	<p>Consiste en los siguientes: un disco filtrante estéril se pone en la unidad de filtración. Se hace pasar un volumen de agua por el disco, las bacterias serán detenidas en la superficie de la membrana. Se quita el disco y se pone sobre una almohadilla absorbente que previamente se ha saturado con el medio de cultivo apropiado. Las almohadillas absorbentes con los discos filtrantes se acomodan en cajas de Petri de tamaño especial, las cuales se incuban. Después de la incubación se desarrollarán colonias sobre el disco filtrante en cualquier lugar donde hayan quedado bacterias atrapadas durante el proceso de filtración.</p> <p>La placa Petri conteniendo el disco filtrante con el residuo se lleva a estufa termostaticada a 37 °C para la determinación de microorganismos totales y Coliformes totales, o a 44,5 °C para la de Coliformes fecales, durante un período de 24 horas.</p> <p>Tras la incubación, se procede al recuento de las colonias formadas en cada disco filtrante, expresando los resultados en millones de microorganismos por litro de agua.</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.2.2.6 Determinación de Sólidos Disueltos (Método 2540-C)

Tabla 2.2-6 Determinación de Sólidos Disueltos

Fundamento	Objetivos	Materiales	Procedimiento	Cálculos
Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio posteriormente, el filtrado se evapora hasta que se seque en una placa pesada y secada a peso constante. El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales disueltos	Los sólidos son materiales suspendidos, o disueltos en aguas limpias o residuales, los cuales afectan negativamente a la calidad del agua o a sus suministros de varias maneras. Las aguas con abundante cantidad de sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción física desfavorable	Para lo cual necesitamos: Placas de evaporación Capsulas de Porcelana Platino Vaso alto de sílice Mufla Baño de vapor Desecador Balanza analítica Discos de filtrado Aparato de filtrado Embudo Crisoles de Gouch Matraz Estufa	Calentar: la capsula limpia en la estufa a 103 a 105 °C durante 1 hora la conservamos en el desecador y la pesamos inmediatamente antes de usarla Análisis de la muestra: fíltrese un volumen medido de la muestra, lavarse con volúmenes de agua 10ml drene durante 3min, transfiera el filtro evapórelo a baño María, después séquelo en la estufa a 103-105°C durante 1h, enfríese en el desecador pese. Repita el ciclo hasta obtener un peso constante.	Para la determinación de los sólidos totales utilizamos: $\frac{\text{mg de solidos totales/L}}{\text{ml de muestra}} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{ml de muestra}}$ Dónde: A= peso de residuo seco + placa mg B= peso de la placa en mg

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.2.2.7 Determinación de la DQO (Método 5220-C)

Tabla 2.2-7 Determinación de la demanda química de oxígeno

Fundamento	Objetivos	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición, la muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio. Después de la digestión el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente</p>	<p>La determinación de la DQO es una prueba que se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte.</p>	<p>Para lo cual necesitamos:</p> <p>Reactor de DQO Probeta graduada Vaso de precipitación Tubos de reactivos de digestión con tapa Toallas de papel Pipetas volumétricas</p>	<p>Método de reflujo cerrado</p> <ul style="list-style-type: none"> -Precalentar a 150°C el digestor de DQO -Colocar los tubos de reacción -Tomar cuidadosamente la muestra previamente homogeneizada -Añadir cuidadosamente la disolución digestora respectiva. -Colocar agua en el tubo del blanco de reactivos. -Colocar todos los tubos en el digestor previamente calentados y dejar por 2h. -Retirar los tubos del digestor y dejar enfriar -Medir la absorbancia en el Espectrofotómetro previamente calibrado o cuantificar por titulación. 	<p>El DQO se expresa mgO₂/L:</p> $DQO = \frac{(V1 - V2) * 800}{V_s}$ <p>Dónde:</p> <p>V1= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo. V2= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra. Vs= volumen de la muestra. M= molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal.</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

2.3 PROCESOS DE TRATABILIDAD.

2.3.1 ENSAYO DE LABORATORIO. MÉTODO “PRUEBA DE JARRAS”.

El ensayo de jarras es uno de los más importantes para el control del proceso de coagulación química de aguas. Se lo realiza entre otros, con los siguientes propósitos.

- Selección del tipo de coagulación más efectiva
- Determinación del pH óptimo de coagulación
- Evaluación de la dosis optima de coagulante
- Determinación de la dosis de ayudas de coagulación
- Determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques sedimentación
- Conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa.
- Elección de velocidad y tiempo de agitación de las paletas así como el tiempo de reposo.

Especificaciones

- Dosis del coagulante (50 -500 ppm)
- Concentración del coagulante (10 – 50 %)

Reactivo

En el presente estudio se utilizó el policloruro de aluminio (25%)

Materiales y Equipos

- Equipo de test de jarras
- pH metro

- Nefenómetro
- Vaso de precipitación
- Pipetas graduadas (5 – 10 ml)

Procedimiento

Para realizar los ensayos de laboratorio, se utiliza un dispositivo llamado Agitador Múltiple provisto de cuatro o cinco puntos de agitación, que permite agitar simultáneamente, a una velocidad determinada, el líquido contenido en una serie de vasos.

Es importante que durante el ensayo el agua tenga una temperatura próxima a la que tendrá realmente durante su tratamiento en planta.

El agua a clarificar se agita en los distintos vasos, y a continuación, se adiciona el coagulante manteniendo una agitación entre 100 y 150 revoluciones por minuto para que la mezcla sea rápida. Dicha agitación se mantiene durante 3 a 10 minutos.

Posteriormente, se adiciona algún corrector de pH si hiciera falta. A continuación se añade el Polielectrólito (o polímero), agitando rápidamente unos 0,5 y 2 minutos para que se reparta rápidamente e inmediatamente se reduce la agitación entre 35 y 60 revoluciones por minuto para conseguir la maduración y crecimiento flocular. Esta última fase puede durar entre 5 y 10 minutos, pasada la cual se desconecta el agitador. Los flóculos se van depositando, pudiendo variar la duración de la sedimentación entre 5 y 30 minutos.

Después se toma agua clarificada de dichos vasos y se procede a determinar los distintos parámetros que nos dan idea del grado de clarificación obtenido como son Turbidez, DBO₅, DQO, SST, etc.

2.3.2 PRUEBAS DE SEDIMENTACIÓN

Para poder determinar el tiempo de retención real de sedimentación de las partículas flocculentas se realiza el ensayo en una probeta graduada de 1000 mL. La probeta se debe llenar con la muestra del agua a tratar, con el que se obtiene el tiempo en que se demora en decantar y el volumen del mismo.

2.4 DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 2.4-1 Análisis físico químico del agua residual de la planta de lácteos ESPOCH

Determinaciones	Unidades	*Métodos	**Limites	Resultados
Ph.	Und	APHA 4500-H	6.5-9	11.41
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	APHA 2510-C	<3000	11.31
Turbiedad	NTU	APHA 2130-B		1138.0
Cloruros	mg/L	APHA 4500-CL-B	1000	4.25
Dureza	mg/L	APHA 2340-C		16.0
Calcio	mg/L	APHA 3500-Ca-B		11.0
Alcalinidad	mg/L	APHA 2320-C		50.0
Sólidos totales	mg/L	APHA 2540-C	100	1000.4
Sólidos disueltos	mg/L	APHA 2540-C		7012.0
DQO	mg/L	APHA 5220-C	250	15900.0
DBO	mg/L	APHA 5210-B	100	11700.0

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Tabla 2.4-2 Análisis físico químico de los parámetros más importantes a considerar

Determinaciones	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Ph.	Und	11.41	6.6	9.01
Turbiedad	NTU	1138	1800	1469
Sólidos Sedimentables	mg/L	1000.4	1500	1250.2
DBO ₅	mg/L	11700	4650	8175
DQO	mg/L	15900	10800	13350

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Tabla 2.4-3 Producción (agosto 2012 - enero 2013)

Producto	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Leche pasteurizada	2730	2305	2788	3246	3546	2330
Queso	4340	4200	3600	3730	4293	4314
Leche estudiantes	1322	1800	1850	1200	650	1752
Yogur	30	30	30	30	30	30
Total	8422	8335	8268	8206	8519	8426

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH

Grafico 2.4-1 Producción (agosto 2012 – enero 2013)

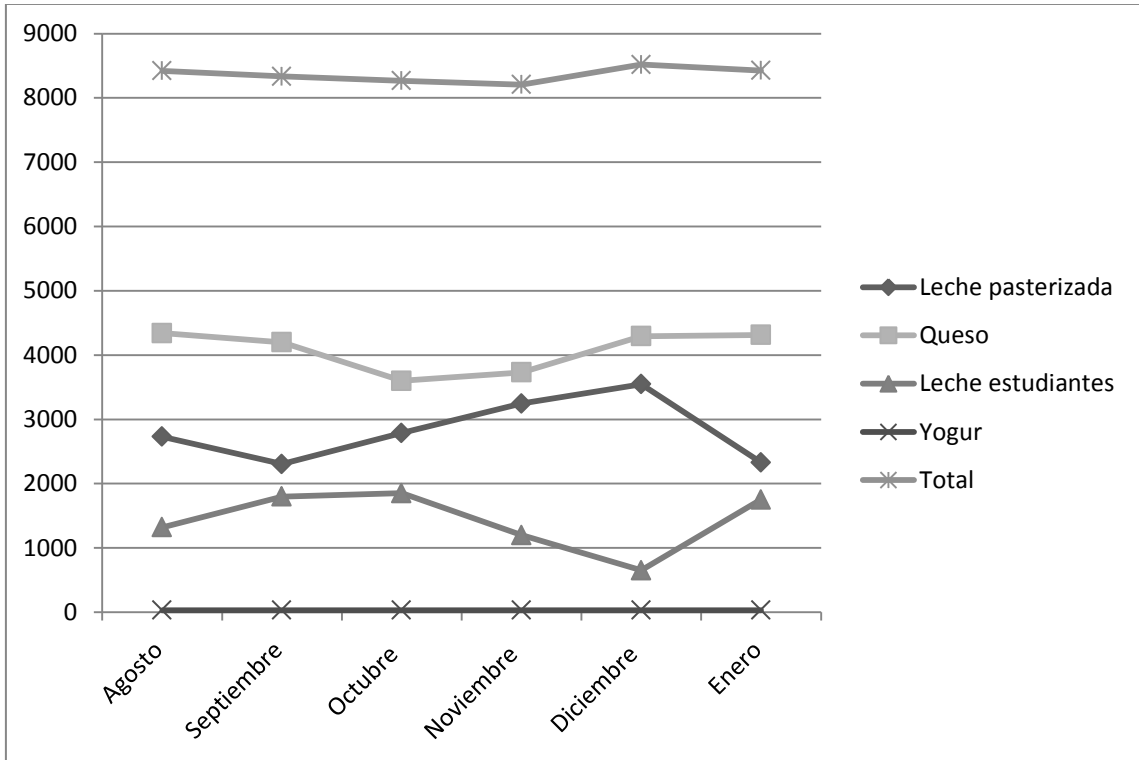
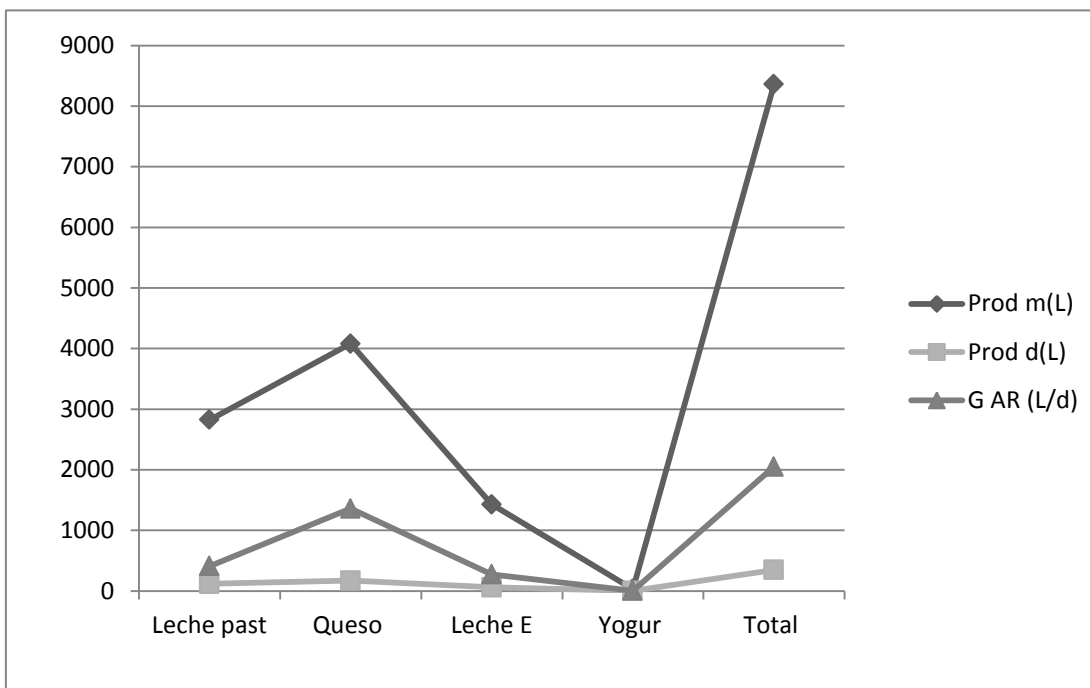


Tabla 2.4-4 Consumo de agua en la planta de lácteos ESPOCH

Producto	Producción mensual (L)	Producción diaria (L)	Consumo de agua (L/d)
Leche pasterizada	2824,2	117,7	412
Queso	4079,5	170	1360
Leche Estudiante	1429	59,5	275
Yogur	30	1,25	5
Total	8362,7	348,44	2052

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH

Grafico 2.4-2 Consumo de agua en la planta de lácteos ESPOCH



2.4.1 TEST DE JARRAS

2.4.1.1 Variación de la concentración del coagulante

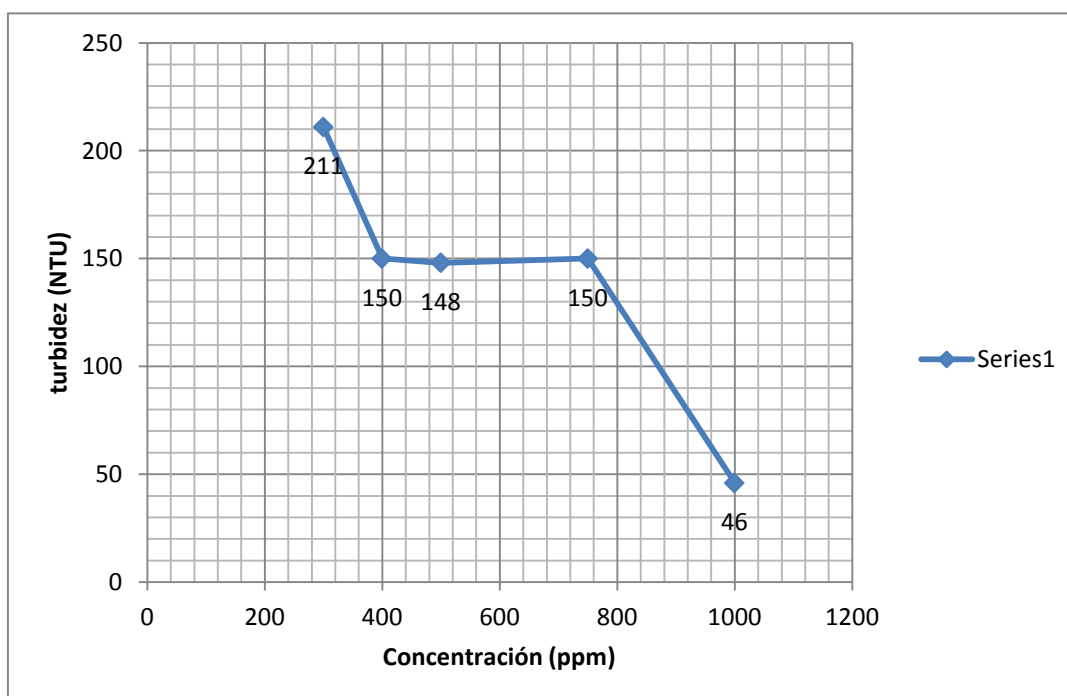
Para esta prueba se mantuvo constante la velocidad de mezclado, variando la dosificación del coagulante, tomando en cuenta que la turbidez del agua a tratar es de 1138 NTU y pH de 6.88.

Tabla 2.4-5 Variación de la dosis del coagulante

Velocidad de mezclado rápido		150 rpm x 2 min		
Velocidad de mezclado lento		60 rpm x 5 min		
Velocidad de decantación		0 rpm x 15 min		
# de jarra (500mL)	Volumen del coagulante 50% (mL)	Concentración (ppm)	Turbidez (NTU)	pH
1	2	1000	46	6.71
2	1.5	750	150	6.83
3	1	500	148	6.70
4	0.8	400	150	6.67
5	0.6	300	211	6.82

Fuente: El Autor

Grafico 2.4-3 Variación de la dosis del coagulante vs turbidez



2.4.1.2 Adición de floculantes

Esta prueba se realizó con el fin de reducir el tiempo de coagulación, utilizando algunos floculantes.

En esta prueba también se mantuvo constante la velocidad de agitación, la turbidez del agua a tratar es de 1380 NTU y pH de 6.88 (policloruro de aluminio 1000ppm)

Tabla 2.4-6 Adición de algunos floculantes

Velocidad de mezclado rápido		150 rpm x 2 min		
Velocidad de mezclado lento		60 rpm x 5 min		
Velocidad de decantación		0 rpm x 15 min		
# de jarra (500mL)	Floculante	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	pH
1	Sin Floculante	120	46	6.71
2	Cal (1g/L)	45	65.9	7.75
3	catiónico (1g/L)	30	82	7.38
4	aniónico (1g/L)	60	150	7.51
5	Peróxido de oxígeno (5 ml/L)	30	184	7.79

Fuente: El Autor

Grafico 2.4-4 Influencia del floculante vs tiempo de sedimentación

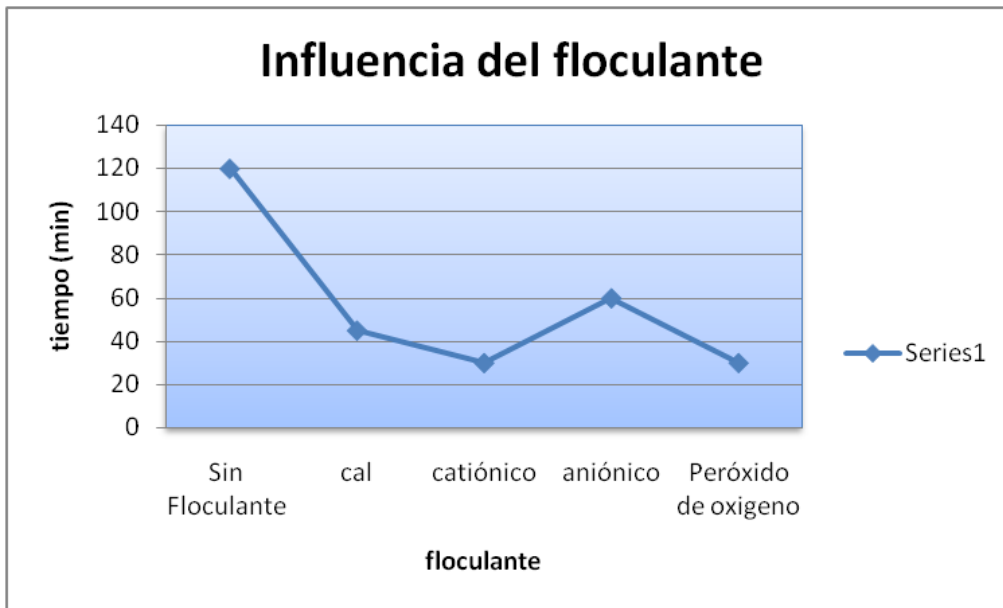
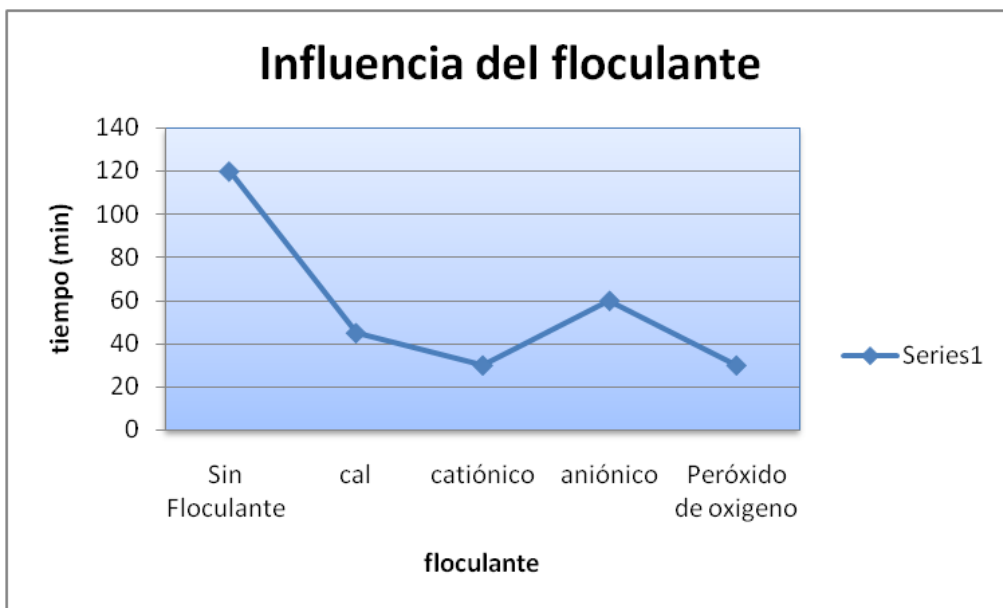


Grafico 2.4-5 Influencia del floculante vs turbidez



2.4.1.3 Influencia del pH en la coagulación química

Esta prueba se lo realizo con el fin de ver la influencia que tiene el pH en el proceso de coagulación química, teniendo en cuenta que la turbidez inicial es de 1380 (policloruró de aluminio 1000ppm y 1 g/L de cal)

Tabla 2.4-7 Influencia del pH

Velocidad de mezclado rápido		150 rpm x 2 min		
Velocidad de mezclado lento		60 rpm x 5 min		
Velocidad de decantación		0 rpm x 15 min		
pH del AR tratar	Prodlo(mL)	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	pH
5.12	300	120	76	4.12
8.66	250	30	66	7.78

Fuente: El Autor

Grafico 2.4-6 Influencia del pH vs producción de lodos

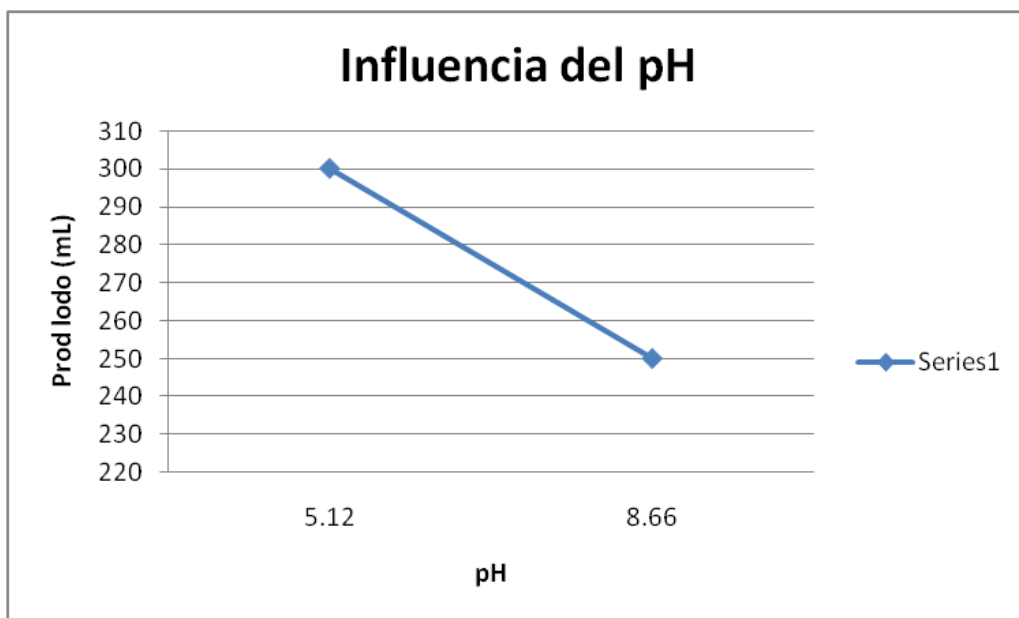
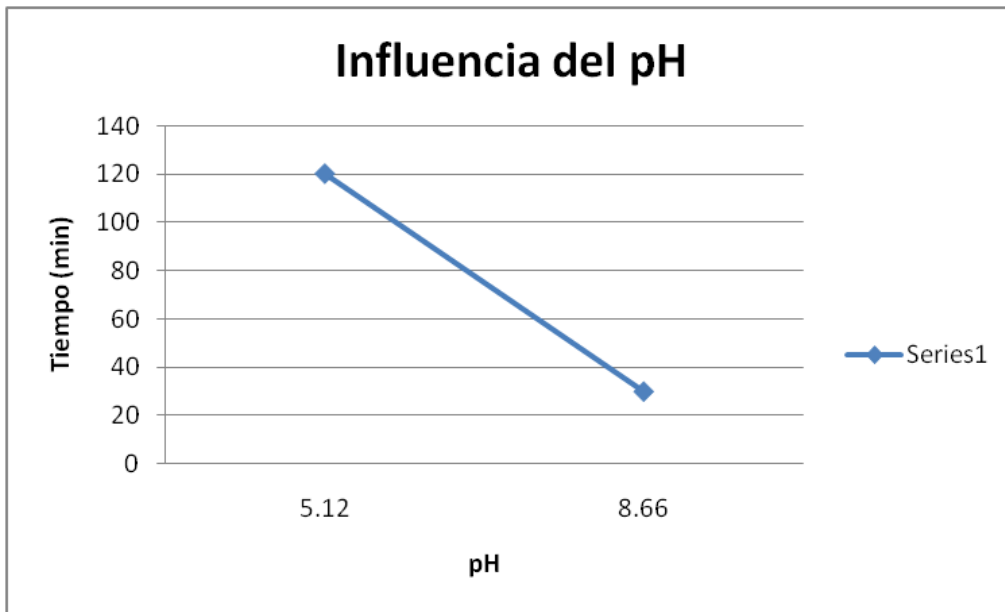


Grafico 2.4-7 Influencia del pH vs tiempo



2.4.2 PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN

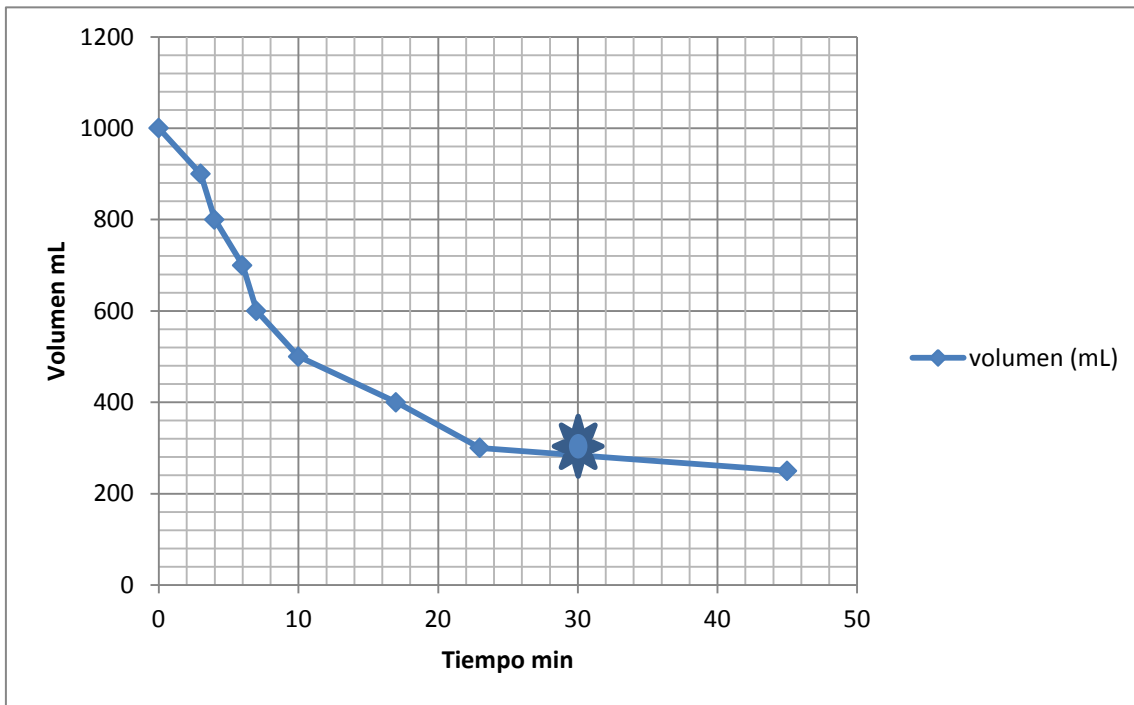
En esta prueba se tomó los valores de la cantidad de sedimento y el tiempo que tardan en sedimentar los flóculos formados (policloruro de aluminio 1000 ppm y 1 g/L de cal)

Tabla 2.4-8 Prueba de sedimentación

Volumen (mL)	100	900	800	700	600	500	400	300	250
Tiempo (min)	0	3	4	6	7	10	17	23	45

Fuente: El Autor

Grafico 2.4-8 Curva de sedimentación



2.4.3 Análisis Físico-químico de agua después del tratamiento químico (coagulación)

Tabla 2.4-9 Análisis Físico-químico de agua después del tratamiento químico (Policloruro de aluminio 1000pm, 1 g cal/L)

Determinaciones	Unidades	Resultado
Ph.	Und	7.70
Turbiedad	NTU	65.9
Sólidos Suspendidos fijos	mg/L	178.0
Sólidos Suspendidos volátiles	mg/L	334.0
DBO ₅	mg/L	4730.0
DQO	mg/L	8440.0

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

2.5 RESULTADOS

El consumo de agua en la planta de lácteos ESPOCH es de 2052 litros, por ende el volumen del agua residual será de 1846.8 litros.

El caudal de agua residual a tratar es de $8.232\text{m}^3/\text{d}$, tomando en cuenta que el agua a tratar se va recoger por 2 días pero el tratamiento se lo hará en un día.

De acuerdo a los análisis físicos químicos de agua residual se pudo determinar que los parámetros a tomar muy en cuenta son: el pH básico (9.01) por la presencia de sosa caustica y detergentes cuaternarios utilizados en la limpieza de equipos y materiales, la turbidez de (1469 NTU) por la presencia de residuos de leche y suero, sólidos totales (1250.2 mg/L), sólidos disueltos (7012 mg/L) por la presencia de materia orgánica provenientes de la leche, la DBO_5 (8175 mg/L) alto contenido de materia orgánica, la DQO (13350 mg/L) por la presencia de sustancias químicas.

La dosificación del coagulante es de 1000ppm, para reducir el tiempo de sedimentación de los flóculos se pudo determinar que el floculante más adecuado es la cal (1g/L).

Después del tratamiento físico químico (coagulación con policloruro de aluminio 1000 ppm y 1 g cal/L) se realizó la caracterización de los parámetros más importantes y se obtuvo: el pH 7.78, una turbiedad 66 NTU, sólidos suspendidos totales 512 mg/L, DBO_5 4730 mg/L, DQO 8400 mg/L, cuyos parámetros nos indica que podemos realizar un proceso de tratamiento biológico.

El tiempo de retención real fue de 45 minutos, se determinó realizando la prueba de sedimentación, pero el tiempo de retención adecuado es de 30 minutos ya que en este instante más del 90% de los flóculos formados ya decanto.

2.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a los productos que se produce y a la cantidad de materia prima se calculó el volumen del agua residual, así mismo se determinó el caudal de diseño con un factor de seguridad de 30%, por si hay una sobre producción, daño de equipos o pérdidas de producto o materia prima.

Al realizar la caracterización física y químicamente se pudo determinar que existían varios parámetros que están fuera de los límites permisible para descargar en un cuerpo de agua dulce (libro VI del TULAS), los cuales pueden producir daños ambientales, ya que el agua de la misma pude entrar en contacto para la agricultura y bebederos de animales de la estación experimental Tunshi.

Para el dimensionamiento del sedimentador primario circular con floculación se tomaron los datos obtenidos en la prueba de jarras y sedimentación así como el tiempo de retención adecuado.

Los resultados de los análisis físico-químicos del agua después del tratamiento químico con policloruro de aluminio 1000 ppm y 1 g cal/L, no se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el TULAS, por lo que se procederán a tomar en cuenta para un tratamiento biológico, para así tener un efluente tratado que cumpla con dichos parámetros puesto a consideración.

CAPITULO III

3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES PARA LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH

Para tratar el Agua Residual procedente de la planta de Lácteos ESPOCH, se dimensionara un Sistema de tratamiento que constara de 3 equipos:

- Un sedimentador circular primario provisto de una paleta para realizar un proceso de floculación.
- Una laguna aireada aeróbica de mezcla completa con difusor.
- Un Sedimentador circular secundario.

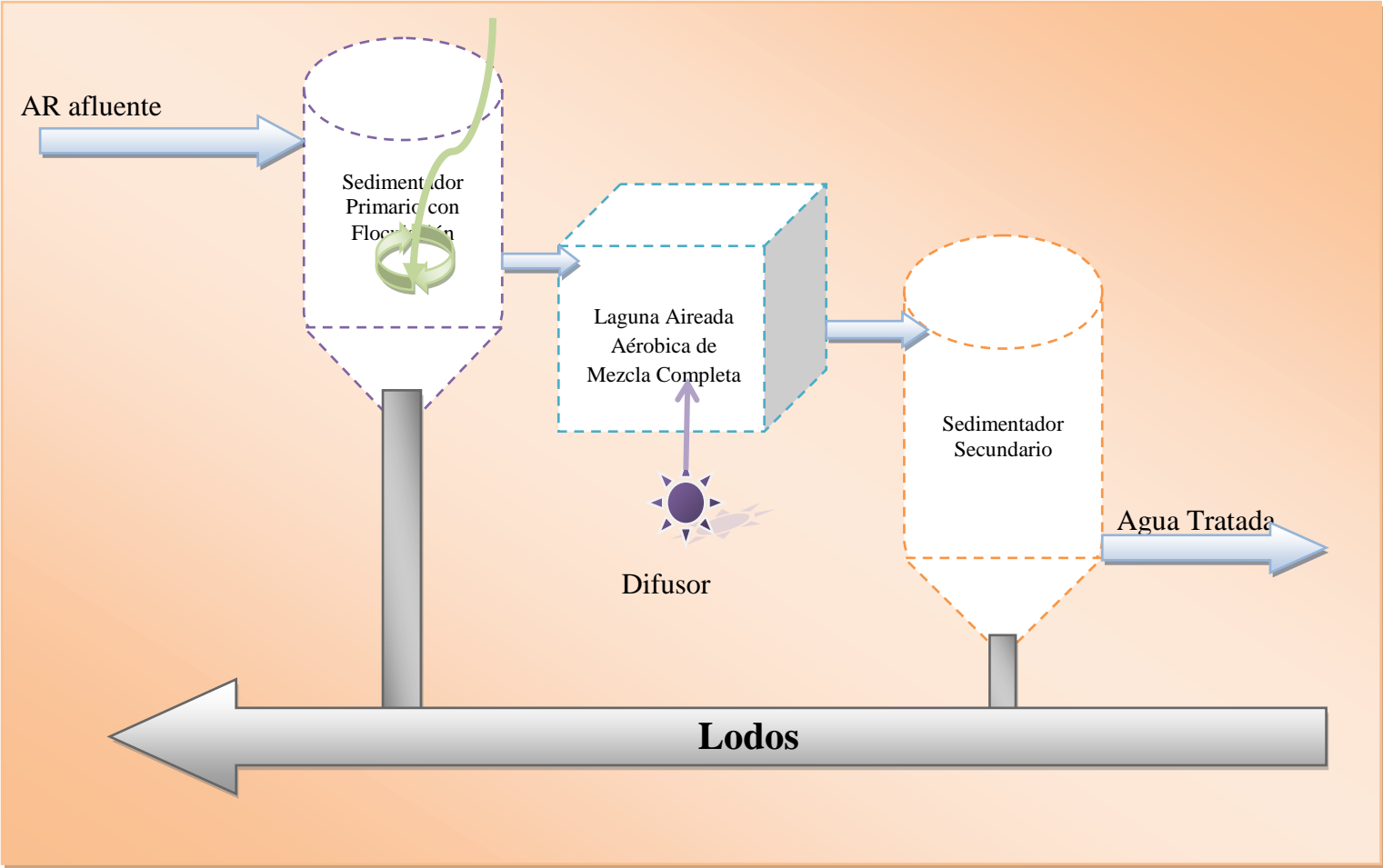
Antes que el agua entre al sistema de tratamiento se instalara un tanque almacenamiento de 1 m de altura, 2.50 m de largo y 1 m de ancho (3.75 m^3 de capacidad) donde se recogerá el agua residual durante 2 días.

Y asimismo se instalara un tanque de descarga de 0.5 m de altura, 1 m de largo y 0.60 m de ancho (0.30 m^3 de capacidad) para verter el efluente tratado al sistema de riego que pasa cerca de la planta.

Para el diseñar de los equipos antes mencionados se procederá a tomar los criterios más bajos que se muestran en cada una de las tablas puestas a consideración, debido a que el caudal que se tiene como base para el diseño es relativamente bajo referente a los valores estándares.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la planta de tratamiento de AR

Figura 3-1 Diagrama de flujo del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta de Lácteos ESPOCH



Realizado por: José Paguay

3.1 CAUDAL DEL DISEÑO

3.1.1 DETERMINACION DEL CAUDAL

El consumo de agua en la planta de lácteos ESPOCH es de 2052 litros por día (tabla 2.4-4), el 90% de la misma se genera como agua residual (1849.8 L), el cual se va a recoger por 2 días y el proceso productivo se da en 7 horas.

Para determinar del caudal tenemos que:

$$Q_r = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 1.7.1-1}$$

$$Q_r = \frac{3.6936 \text{ m}^3}{14 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}}$$

$$Q_r = 6.332 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para calcular el caudal de diseño se emplea el factor de Seguridad (FM), que corresponderá al 30%

$$Q = Q_r + FM \quad \text{Ecuación 1.7.1-2}$$

$$Q = 6.332 + (6.332 * 0.30)$$

$$Q = 8.232 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIA CIRCULAR

Para el diseñar el tanque de sedimentación primaria se asumió varios criterios que se presentan en la tabla puestas a consideración, con la finalidad de obtener un tratamiento primario óptimo, que conlleve a establecer parámetro acorde para un tratamiento secundario de tipo biológico.

3.2.1 CALCULO DEL ÁREA SEDIMENTADOR:

Para determinar el área del Sedimentador primario el valor de la carga superficial se asumió un valor de $14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, debido a que se va a realizar un proceso de coagulación química con policloruro de aluminio (Tabla 1.6-3).

$$A = \frac{Q}{CS} \quad \text{Ecuación 1.7.4-2}$$

$$A = \frac{8.23}{14}$$

$$A = 0.59 \text{ m}^2$$

3.2.2 CALCULO DEL RADIO DEL SEDIMENTADOR.

$$r = \sqrt{A/\pi} \quad \text{Ecuación 1.7.4-3}$$

$$r = \sqrt{0.59/\pi}$$

$$r = 0.43 \text{ m}$$

3.2.3 Calculo del Diámetro del sedimentador:

$$\phi = 2 * r \quad \text{Ecuación 1.7.4-5}$$

$$\phi = 2 * 0.43$$

$$\phi = 0.87 \text{ m}$$

3.2.4 Calculo de la altura del sedimentador

Como el caudal del agua residual a tratar es muy pequeño se ha considerado diseñar un sedimentador de 1.0 m^3 de capacidad

$$H = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 1.7.4-7}$$

$$H = \frac{1.0}{0.59}$$

$$H = 1.70 \text{ m}$$

3.2.5 Tiempo de retención hidráulico:

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 1.7.4-8}$$

$$Tr = \frac{1}{8.232}$$

$$Tr = 0.12 \text{ d}$$

3.2.6 Tiempo de retención real

Para determinar el tiempo de retención real se realizó la prueba de sedimentación de los floculos (coagulación-floculación con policloruro de aluminio a 1000 ppm y 1 g cal/L).

El tiempo óptimo de decantación de los flóculos es de 30 minutos, en este tiempo más del 90 % de los flóculos formados ya se precipitaron, como se puede observar en el (grafico 2.6-1 curva de sedimentación).

3.2.7 Calculo de la Velocidad de arrastre:

$$V_h = \left(\frac{8 \cdot K(s-1)g \cdot d}{f} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1.7.4-9}$$

La velocidad de arrastre se calcula asumiendo los siguientes valores según Metcalf & Eddy:

- ❖ $k= 0.05$
- ❖ $S= 1.25$
- ❖ $g= 9.8 \text{ m}^2/\text{s}$
- ❖ $d= 100 \mu\text{m}$
- ❖ $f= 0.025$

$$V_h = \left(\frac{8 * 0.05 * (1.25 - 1) * 9.8 * 1 * 10^{-4}}{0.025} \right)^{1/2}$$

$$V_h = 0.02 \text{ m/s}$$

3.2.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA PALETA.

La velocidad de rotación se asumirá un valor de 80 rpm (Tabla 1.6-1), a esta velocidad la turbulencia generada no es tan alta, así evitaremos que los flóculos que se formen no se rompan, mientras que la longitud y el área será dimensionada de acuerdo al dimensionamiento que tenga el Sedimentador primario, la cual debe estar separado mínimo 30 cm del fondo y 15 cm de las paredes.

3.2.8.1 GRADIENTE DE VELOCIDAD DE FLUIDO

$$G = 0.25 * n^{1.25} \quad \text{Ecuación 1.7.3-2}$$

$$G = 0.25 * 80^{1.25}$$

$$G = 59.814 \text{ s}^{-1}$$

3.2.8.2 POTENCIA DISIPADA EN LA MEZCLA.

➤ $\mu = 1.063 * 10^{-3} \text{ N*s/m}^2$ a 18 °C correspondiente a la temperatura del lugar

$$P = G^2 * \mu * V \quad \text{Ecuación 1.7.3-1}$$

$$P = 59.814^2 * (1.063 * 10^{-3}) * 1$$

$$P = 3.80 \text{ KW}$$

$$P = 5.1 \text{ HP}$$

3.2.9 DESEMPEÑO DE LOS SEDIMENTADORES

Asumimos los valores de las constantes a y b (Tabla 1.6-4), y el tiempo de retención real de 30 minutos tenemos que:

3.2.9.1 Calculo de la Remoción teórica de DBO_5

$$R = \frac{\text{Tr}}{a+b*\text{Tr}} \quad \text{Ecuación 1.7.4-10}$$

$$R = \frac{30}{0.018 + 0.020 * 30}$$

$$R = 49 \%$$

3.2.9.2 Calculo de la Remoción teórica de SST

$$R = \frac{\text{Tr}}{a+b*\text{Tr}} \quad \text{Ecuación 1.7.4-10}$$

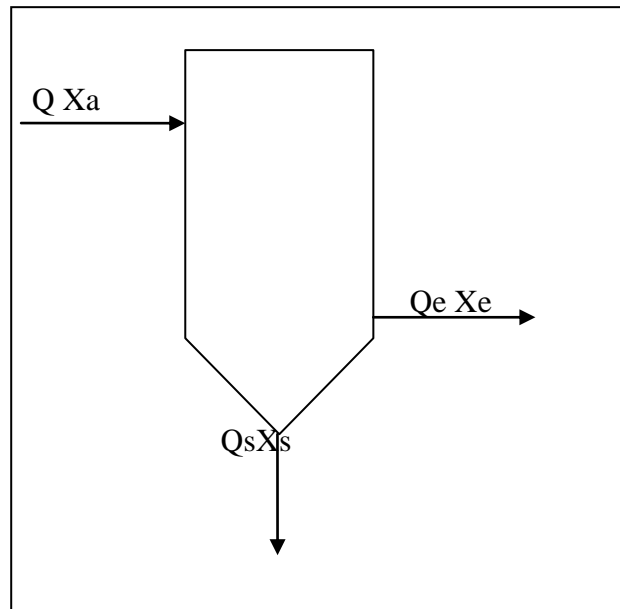
$$R = \frac{30}{0.0075 + 0.014 * 30}$$

$$R = 70.6\%$$

3.2.10 BALANCE PARA EL SEDIMENTADOR PRIMARIO

Los sedimentadores primarios se diseñan para una separación determinada normalmente 40-60 % de los sólidos en suspensión en el vertido de entrada.

Figura 3-2 Balance de masa para sedimentadores



Realizado por: José Paguay

Dónde:

- Q = caudal del afluente (m^3/d)
- Q_e = caudal de efluente clarificado (m^3/d)
- Q_s = caudal del sedimentó separado (m^3/d)
- X_a = mg/L de Sólidos suspendidos en el afluente
- X_e = mg/L de Sólidos suspendidos volátiles que permanece en el efluente clarificado
- X_s = mg/L de Sólidos suspendidos en el caudal separado

Balance total de líquidos en circulación:

$$Q = Q_e + Q_s \quad \text{Ecuación 3.2.10-1}$$

Efectuando u balance de materia para sólidos en suspendidos tenemos:

$$Q * X_a = Q_e * X_e + Q_s * X_s \quad \text{Ecuación 3.2.10-2}$$

Combinando las ecuaciones 3.8-1 y 3.8-2 tenemos:

$$Q_e = \frac{Q * (X_a - X_s)}{(X_s - X_e)} \quad \text{Ecuación 3.2.10-3}$$

$$Q_e = \frac{8.23 * (1250.2 - 882.6)}{(882.6 - 367.6)}$$

$$Q_e = 5.87 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para calcular el caudal del sedimento separado utilizamos la ecuación 3.8.1-1

$$Q = Q_e + Q_s \quad \text{Ecuación 3.8.1-1}$$

$$Q_s = Q - Q_e$$

$$Q_s = 8.23 - 5.87$$

$$Q_s = 2.36 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.3 CALCULO PARA EL DISEÑO DE LA LAGUNA AIREADA AERÓBICA DE MEZCLA COMPLETA

Para la laguna aireada se tomara los datos promedio de los parámetros Contaminantes más importantes indicados en la (tabla 2.4-2), así se tendrá un dimensionamiento que esté acorde a la variación de los mismos.

3.3.1 Concentración de la DBO₅ en el afluente

$$S_0 = DBO_5 - \left(\frac{R_{DBO_5}}{100}\right) * DBO_5 \quad \text{Ecuación 3.3.1-1}$$

$$S_0 = 8175 - \left(\frac{49}{100}\right) * 8175$$

$$S_0 = 4169.25 \text{ mg/L}$$

3.3.2 Calculo de la Concentración de la DBO₅ en el efluente

$$Tr = \frac{1}{Y * K * S_e - K_d} \quad \text{Ecuación 1.7.5-1}$$

$$X_{V,a(Tr)} = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + K_d * Tr} \quad \text{Ecuación 1.7.5-3}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{Tr * X_{V,a(Tr)}} \quad \text{Ecuación 1.7.5.2}$$

Parar el cálculo de la concentración de la DBO₅ en el efluente se combinó las ecuaciones anteriores.

$$S_e = \frac{\frac{F}{M} * S_0}{K * S_0 + F/M} \quad \text{Ecuación 3.3.2-1}$$

Para el cálculo de la concentración de la DBO₅ en el efluente se asumirá los siguientes valores:

- Y= 0.8 mg SSV/mg DBO₅
- K= 0.06 L/mg*d)
- K_d= 0.20 d⁻¹

Entonces

$$S_e = \frac{0.6 * 4169.25}{0.10 * 4169.25 + 0.6}$$

$$S_e = 5.99 \text{ mg/L}$$

3.3.3 Tiempo de retención hidráulica

$$Tr = \frac{1}{Y * K * S_e - K_d} \quad \text{Ecuación 1.7.5-1}$$

$$Tr = \frac{1}{0.8 * 0.6 * 5.99 - 0.20}$$

$$Tr = 3.57 \text{ d}$$

3.3.4 Concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente

$$X_{V,a(Tr)} = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + K_d * Tr} \quad \text{Ecuación 1.7.1-3}$$

$$X_{V,a(Tr)} = \frac{0.8(4169.25 - 5.99)}{1 + 0.20 * 3.57}$$

$$X_{V,a(Tr)} = 1943.20 \text{ mg/L}$$

3.3.5 Concentración real de DBO₅ en el efluente

$$S'e = S_e + 0.54 * X_{v,a(Tr)} \quad \text{Ecuación 1.7.5-4}$$

$$S'e = 5.99 + 0.54 * 1943.20$$

$$S'e = 1055.30 \text{ mg/L}$$

3.3.6 Rendimiento en la depuración

$$E = \frac{S_0 - S'e}{S_0} * 100 \quad \text{Ecuación 1.7.15-6}$$

$$E = \frac{4169.25 - 1055.30}{4169.25} * 100$$

$$E = 75\%$$

3.3.7 Calculo del Volumen de la laguna

$$V = Q * Tr \quad \text{Ecuación 1.7.5-7}$$

$$V = 5.87 * 3.57$$

$$V = 21\text{m}^3$$

De acuerdo al sistema planteado, para el tratamiento de aguas residuales de la Planta de Lácteos ESPOCH el volumen de la laguna de aireación aeróbica de mezcla completa será de 10.5 m³, su profundidad será de 1.5 m (Tabla 1.6-5) y la relación L= 2 Ac

3.3.8 Largo, ancho y profundidad de la laguna

$$V = L * Ac * H \quad \text{Ecuación 3.3.8-1}$$

Entonces:

$$V = 2Ac * Ac * H \quad \text{Ecuación 3.3.8-2}$$

$$Ac = \sqrt{\frac{V}{2 * H}}$$

$$Ac = \sqrt{\frac{10.5}{2 * 1.5}}$$

$$Ac = 1.87\text{m}$$

De donde:

$$L = 2 * Ac \quad \text{Ecuación 3.3.8-3}$$

$$L = 2 * 1.87 \text{ m}$$

$$L = 3.74 \text{ m}$$

3.3.9 Producción observada (Y_{obs})

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{1 + K_d * Tr} \quad \text{Ecuación 1.7.5-8}$$

$$Y_{\text{obs}} = \frac{0.8}{1 + 0.25 * 3.57}$$

$$Y_{\text{obs}} = 0.42 \text{ mgSSV/mgDBO}_5$$

3.3.10 Producción de fangos

$$P_X = Y_{\text{obs}} * Q * (S_0 - S'e) * 10^{-3} \quad \text{Ecuación 1.7.5-9}$$

$$P_X = 0.42 * 5.87 * (4169.25 - 1055.30) * 10^{-3}$$

$$P_X = 7.68 \text{ SSV Kg/d}$$

3.3.11 Requerimiento de oxígeno

$$WO_2 = \frac{[a*(S_0 - S_e)*Q + b*X_{v,a}(Tr)*V]}{1000} \quad \text{Ecuación 1.7.5-10}$$

Se asumirá los siguientes valores:

- $a = 0.63 \text{ KgO}_2/\text{Kg DBO}_5$
- $b = 0.28 \text{ KgO}_2/\text{Kg SSV*d}$

$$WO_2 = 0.63 * (4169.25 - 6) * 5.87 + 0.28 * 1055.30 * 10.5$$

$$WO_2 = 18598.70 \text{ g O}_2/\text{d}$$

3.3.12 Características del Difusor

3.3.12.1 Correlación de C_{sw}

$$C'_{sw} = C_{sw} * \frac{P - P_v}{760 - P_v} \quad \text{Ecuación 1.7.5-12}$$

$$C'_{sw} = 8.4 * \frac{546 - 18}{760 - 18}$$

$$C'_{sw} = 5.98 \text{ mg/L}$$

3.3.12.2 Tasa de transferencia total de oxígeno

$$N = N_0 * \left[\alpha \left(\frac{\beta * C'_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) * (1.024^{(T-20)}) \right] \quad \text{Ecuación 1.7.5-11}$$

Asumimos valores de:

- $N_0 = 2.0 \text{ KgO}_2/\text{Kw} \cdot \text{h}$
- $\alpha = 0.8$
- $\beta = 0.98$
- $C_L = 2.0 \text{ mg/L}$
- $C_{st} = 9.17 \text{ mg/L}$
- $T = 18^\circ\text{C}$

$$N = 2.0 * \left[0.8 \left(\frac{0.98 * 5.98 - 2.0}{9.17} \right) * (1.024^{(18-20)}) \right]$$

$$N = 0.33 \text{ Kg O}_2/\text{Kw} * \text{h}$$

3.3.12.3 Potencia total necesaria

$$Pt = \frac{W_{O_2}}{24 * N} * 10^{-3} \quad \text{Ecuación 1.7.5-13}$$

$$Pt = \frac{18498.70}{24 * 0.33} * 10^{-3}$$

$$Pt = 2.34 \text{ KW}$$

$$Pt = 3.13 \text{ HP}$$

3.3.12.4 Potencia unitaria de aireación

$$P = \frac{Pt}{V} * 10^3 \quad \text{Ecuación 1.7.5-14}$$

$$P = \frac{2.34}{10.5} * 10^3$$

$$P = 0.22 \text{ Kw/m}^3$$

3.4 CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

El volumen del sedimentador secundario será de 0.5 m^3 , para su dimensionamiento se asumirá los valores más bajos, que se han puesto a consideración en las diferentes tablas.

3.4.1 Área del sedimentador secundario

$$A = \frac{Q}{CS} \quad \text{Ecuación 1.7.6-1}$$

La tasa superficial para el cálculo del área del sedimentador secundario será de $16 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (Tabla 1.6-7).

$$A = \frac{5.87}{16}$$

$$A = 0.37 \text{ m}^2$$

3.4.2 Radio del sedimentador.

$$r = \sqrt{A/\pi} \quad \text{Ecuación 1.7.6-2}$$

$$r = \sqrt{0.37/\pi}$$

$$r = 0.34 \text{ m}$$

3.4.3 Diámetro del sedimentador.

$$\phi = 2 * r \quad \text{Ecuación 1.7.6-3}$$

$$\phi = 2 * 0.34$$

$$\phi = 0.68 \text{ m}$$

3.4.4 Tiempo de retención Hidráulico para el sedimentador secundario

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 1.6.6-4}$$

$$Tr = \frac{0.5}{5.87}$$

$$Tr = 0.0852d$$

$$Tr = 2.044 \text{ h}$$

3.4.5 Reparto central.

El 25% del diámetro es el reparto central

$$R_{\text{central}} = \phi * 0.25 \quad \text{Ecuación 1.7.6-4}$$

$$R_{\text{central}} = 0.68 * 0.25$$

$$R_{\text{central}} = 0.17 \text{ m}$$

3.4.6 Calculo de la altura del sedimentador.

$$H = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 1.7.6-5}$$

$$H = \frac{0.5}{0.36}$$

$$H = 1.40 \text{ m}$$

3.4.7 Altura de reparto.

La altura de reparto se toma $\frac{1}{4}$ de la profundidad:

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} * H \quad \text{Ecuación 1.7.6-6}$$

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} * 1.40$$

$$H_{\text{reparto}} = 0.35 \text{ m}$$

3.4.8 Carga sobre vertederos.

Para poder determinar la carga sobre el vertedero se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{Q}{\phi * \pi} \quad \text{Ecuación 1.7.7-1}$$

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{5.87}{0.68 * \pi}$$

$$C_{\text{vertedero}} = 2.74 \text{ m}^3/\text{m}^2*\text{d}$$

3.5 Resumen de los Equipos Diseñados.

3.5.1 Sedimentador primario

Tabla 3.5-1 Resumen del dimensionamiento del sedimentador primario

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	m ³ /d	8.232
Capacidad	V	m ³	1.0
Área	A	m ²	0.60
Altura	H	m	1.70
Radio	r	m	0.45
Diámetro	ϕ	m	0.90
Tiempo de retención	Tr	d	0.12

Fuente: El Autor

3.5.1.1 Paleta

Tabla 3.5-2 Resumen del dimensionamiento de la paleta

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Gradiente de velocidad	G	s ⁻¹	60
Potencia disipada	P	HP	5.1
Área	A	m ²	0.045
Longitud	l	m	1.50
Ancho	Ac	m	0.15

Fuente: El Autor

3.5.2 Laguna aireada aeróbica de mezcla completa

Tabla 3.5-3 Resumen del dimensionamiento de la laguna aireada

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	m ³ /d	5.87
Volumen	V	m ³	10.5
Altura	H	m	1.50
Largo	l	m	3.80
Ancho	An	m	1.90
Tiempo de retención	Tr	d	3.57
Requerimiento de oxígeno	WO ₂	KgO ₂ /d	18.51

Fuente: El Autor

3.5.2.1 Difusor

Tabla 3.5-4 Resumen del dimensionamiento del difusor

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Tasa de transferencia de oxígeno	N	KgO ₂ /Kw*h	0.33
Potencia total	Pt	HP	3.13
Potencia unitaria	P	Kw/m ³	0.22

Fuente: El Autor

3.5.3 Sedimentador secundario

Tabla 3.5-5 Resumen del dimensionamiento del sedimentador secundario

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	m ³ /d	5.87
Capacidad	V	m ³	0.5
Área	A	m ²	0.37
Altura	H	m	1.40
Radio	r	m	0.35
Diámetro	ϕ	m	0.70
Tiempo de retención	Tr	h	2.90
Carga sobre vertederos	C _{vertedero}	m ³ /m ² *d	2.74

Fuente: El Autor

3.6 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL

Tabla 3.6-1 Remoción de contaminantes del AR

Parámetros	Concentración en el afluente (mg/L)	Sedimentador Circular Primario		Laguna Aireada Aeróbica		Sedimentador Circular Secundario		% de Remoción Total	Valor límite permisible (mg/L)
		Concentración en el efluente(mg/L)	% de Remoción	Concentración en el efluente(mg/L)	% de Remoción	Concentración en el efluente(mg/L)	% de Remoción		
SST	1250.2	512	59.1						100
		*367.6	70.6	**183.8	50	**92	50	92.6	
DBO ₅	8175	4730	42.1						100
		*4005.8	49	1001.4	75	**240	75	97.1	
DQO	13350	8440	37.1	**844	90	**422	50	96.8	250
Otros Parámetros Importantes									
Turbidez	1380	65.9		65.9	---	< 1			---
pH	6.60	7.75	----	7.75	---	7.75	---	7.75	6-9

Fuente: El Autor.*Datos obtenidos experimentalmente. ** Datos obtenidos teóricamente

3.7 PROPUESTA

El agua residual de la planta de lácteos ESPOCH contiene un gran cantidad de contaminantes de origen orgánico que se ve reflejado por su alto valor en la DBO₅ y DQO, así como la variación de pH y una turbidez alta, todo esto se debe a la presencia de residuos de leche, productos lácteos, productos químicos de limpieza (sosa caustica, ácido nítrico, desinfectantes y detergentes) y en muchos caso el suero siendo este último un foco de contaminación para esta agua, la cual debe ser tratada para su descargar evitando daños ambientales cuando esta entren en contacto a los causes, para lo cual se procedió a dimensionar un sistema de tratamiento adecuado que se describe a continuación:

El agua residual de la planta de lácteos ESPOCH antes que llegue al sistema de tratamiento va a sufrir un pretratamiento leve que consta de un sistema de rejillas, cajas de retención y un tanque de almacenamiento lo cual permite retener residuos sólidos de los productos lácteos, arena, entre otros, etc.

Un sedimentador primario de 1.0 m³ de capacidad provisto de una paleta con 5.1 HP de potencia para realizar una coagulación química, donde se pretende disminuir una gran cantidad de los sólidos suspendidos totales (disminuir la turbidez).

Una Laguna Aireada Aeróbica de 10.5 m³ de capacidad provista de 2 difusores de turbina de 1.57 HP de potencia para proporcionar oxígeno a la misma y así reducir la mayor parte de la carga orgánica.

Un sedimentador secundario de 0.5 m³ de capacidad donde se realizara un proceso de clarificación separando el agua clarificada de los flóculos generados en la laguna.

Para descargar el agua tratada se preverá de un tanque de descarga de 0.1 m³ de capacidad donde se podrá realizar un proceso de desinfección si el caso lo amerita.

Para el control de flujos se dispondrá de los accesorios adecuados en cada uno de los equipos que forman parte de este sistema dispuesto, así como accionadores de flujo y otros materiales si el caso lo amerita.

Si la planta de lácteos funcionara a su capacidad que es de 800 litros de leche, el presente dimensionamiento si puede hacer frente a la misma, pero el tratamiento se debería realizarse todo los días.

3.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los tres equipos que forman parte del sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en la planta de lácteos están dimensionados para hacer frente a los contaminantes de origen orgánico que se ve reflejado en su alta turbidez, y que de acuerdo a su naturaleza tienden a acidificarse rápidamente afectado el pH.

Ninguno de los equipos diseñados en esta investigación cumplen con los parámetros establecidos debido a que el caudal de diseño y el volumen de agua a tratar son relativamente bajos frente a los valores estándares que se encuentran en algunas bibliografías, pero el nivel de contaminación de este efluente es alto y el cual afecta a medio donde esta es depositada.

La prueba de jarras y de sedimentación se realizó con el fin de determinar la dosis correcta de coagulante, con el cual se pudo disminuir la turbidez y establecer un pH mayor a 7, con

el cual se pudo establecer que se debe realizar un proceso biológico para disminuir el valor de la DBO₅ y DQO.

Con el sistema de tratamiento que consta de: un sedimentador con floculación donde se utiliza un agente químico (policloruro de aluminio 1000ppm y 1 g cal/L) para disminuir la turbidez y poder establecer un pH < 7; una laguna aireada aeróbica de mezcla completa con aireación mecánica generada por 2 turbinas, donde se degrada la materia orgánica presente en este efluente y un sedimentador secundario para separar el agua clarificada del lodo generado en la laguna aireada, teniendo una remoción de SST 92.6%, DBO₅ 97.1%, DQO 96.8%, reduciendo la turbidez >1 y estableciendo el pH < 7. Lo que nos permitirá disponer el efluente tratado al sistema de agua de riego que se utiliza en la estación experimental Tunchi.

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al caracterizar el agua residual proveniente de la Planta de Lácteos ESPOCH, se obtuvo resultados de: 11700 mg/L de DBO₅, 15900 mg/L de DQO, 1138 NTU de turbiedad, 1000.4 mg/L de SST, 11.31 μ S/cm de conductividad y 7012 mg/L de Sólidos Disueltos, los cuales se encuentran fuera de los niveles emisibles para su descarga final que están establecidos en el TULAS.
- En base a los resultados de la caracterización del agua residual, el tratamiento adecuado es, un tratamiento físico-químico (coagulación-floculación) seguido por un tratamiento biológico (laguna aireada aeróbica) y un tratamiento de desinfección (cloración).
- El sistema de tratamiento de agua residual consiste de un Sedimentador circular con capacidad para 1.0 m³ accionado por una paleta de 2.50 HP, en el cual se va a añadir floculante (Policloruro de Aluminio, concentración 1000 ppm para la mitigación del agua residual), una laguna aireada aeróbica para eliminar la mayor parte de materia orgánica contaminante con capacidad de 10.5 m³, con 2 difusor de turbina de 1.56 HP de potencia cada uno y un sedimentador secundario de 0.5 m³ de capacidad para separar los lodos formados del agua tratada.
- Con el sistema de tratamiento propuesto se pretende reducir el 97.1 % de la DBO₅, el 96.8 % de la DQO, el 92.6% de los SST, la turbidez a <1 NTU, y mantener el pH

>7, no cumple con la norma planteada en la presente investigación TULAS tabla 12 para descargas a un cuerpo de agua dulce pero si puede ser descargado a un sistema de alcantarillado o destinar al sistema de riego por que se ha eliminado la mayor parte de la carga orgánica contaminante.

- Con este tratamiento es factible manejar las aguas residuales generadas en la planta de lácteos de la ESPOCH ya que nos permite disminuir la mayor parte de la materia orgánica en base a un sistemas de tratamiento dónde se modificaron sus características para volverlos apta para la reutilización en la agricultura.

4.2 RECOMENDACIONES

- Mantener un control exhaustivo del agua residual que se genera ya que se puede darse modificaciones considerables de los parámetros, para que el sistema propuesto funcione adecuadamente.
- Hacer análisis frecuentes al agua tratada para verificar que el sistema de tratamiento está opere adecuadamente.
- El lodo generado como subproducto del tratamiento puede ser destinado para la agricultura por su alto contenido de materia orgánica, previo a un estudio de aplicabilidad.
- Realizar una limpieza mensual principalmente del sistema de rejillas, cajas de retención, tanque de almacenamiento y laguna de aireación para obtener un buen tratamiento.
- Recomendamos implementar este sistema de tratamiento propuesto para disminuir la contaminación del agua en la Estación Experimental Tunshi.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- CRITES-TCHOBANOGLIOUS.,** Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones., 2a. ed., Bogotá – Colombia., McGraw – Hill Interamericana., 2000., Pp. 33 – 67; 300 – 333.

- 2.- FERNANDEZ, A. y otros.,** Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales., Madrid - España., Elecé Industria Gráfica., 2006., Pp. 18 – 30.

- 3.- METCALF & EDDY.,** Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Reutilización., 3a. ed., Madrid – España., McGraw – Hill Interamericana., 1995., Pp. 508 – 515; 538 – 551; 555 – 557; 605 – 682.

- 4.- RAMALHO, R.,** Tratamiento de Aguas Residuales., 2a. ed., Barcelona– España., Editorial Reverté., 1993., Pp. 92 – 112.

- 5.- **ROMERO, J.**, Tratamiento de Agua Residuales teoría y Principios de Diseño., 2a. ed., Bogota – Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2002., Pp. 404 – 410; 448.
- 6.- **ECUADOR, MINISTERIO DEL AMBIENTE.**, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. TULAS, Anexo IV., Ecuador., 2003., Pp. 1 – 44.
- 7.- **STHANDAR METHODOS.**, Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales., American Public Health Water Pollution., Control Federation., Madrid – España., Conjunto de Leones S. Días Santos SA., 1992., Pp. 2 – 52; 4 – 168.

INTERNET

8.- AGUAS RESIDUALES

<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

2013/02/08

9.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1778/MSc.12.pdf>

2012/08/24

10.- CONTAMINACIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

http://www.bio-tec.net/esp/ref_indlactea.html

2013/02/08

11.- CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

<http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/27.pdf>

2013/02/08

12.- PROPIEDADES DE LA AGUAS RESIDUALES

[http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON CUALITATIVA AGUAS RESIDUALES.pdf](http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON_CUALITATIVA_AGUAS_RESIDUALES.pdf)

2012/08/12

13.- GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA LÁCTEA

<http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf>

2012/08/12

ANEXOS

Anexo 1 Sistema de rejillas



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la planta de lácteos ESPOCH		
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Fecha	Lamina	Escala

Anexo 2 Cajas de Retención



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la planta de lácteos ESPOCH		
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Fecha	Lamina	Escala

Anexo 3 Toma de muestras



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la planta de lácteos ESPOCH		
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Fecha	Lamina	Escala

Anexo 4 Proceso de coagulación química con Policloruro de aluminio al 25%



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Tratamiento del AR de la planta de lácteos ESPOCH		
			Fecha	Lamina	Escala

Anexo 5 Influencia del pH en el proceso de coagulación



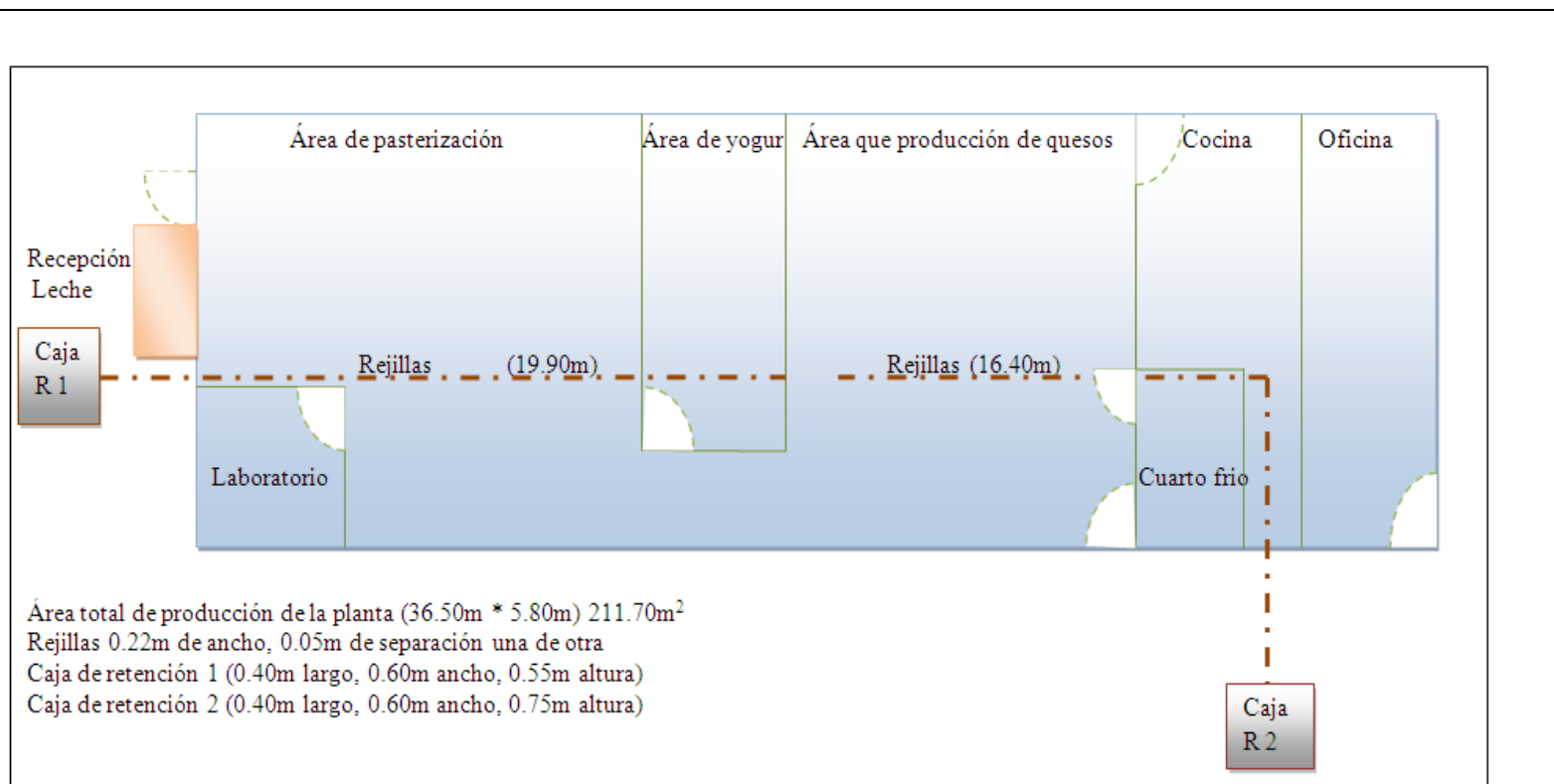
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la planta de lácteos ESPOCH		
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Fecha	Lamina	Escala

Anexo 6 Disposición del final lodo



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la planta de lácteos ESPOCH		
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Fecha	Lamina	Escala

Anexo 7 Diagrama del área de producción de la planta de lácteos ESPOCH



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
			Fecha	Lamina	Escala

Anexo 8 Análisis físicos-químicos del Agua Residual de la Planta de Lácteos 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: Sr. José Paguay
 Fecha de Análisis: 11 de noviembre del 2012
 Fecha de Entrega de Resultados: 3 de diciembre del 2012
 Tipo de muestras: Agua Residual de la Planta de Lácteos ESPOCH
 Localidad: Tunshi Riobamba

Código LAT/0211-12

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	*Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6.5 - 9	11.41
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	< 3000	11.31
Turbiedad	UNT	2130-B		1,138.0
Alcalinidad	mg/L	2320-C		50.0
Cloruros	mg/L	4500-Cl-B	1000	4.25
Dureza	mg/L	2340-C		16.0
Calcio	mg/L	2340-C		11.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	11,700
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	15,900
Sólidos Totales Suspensivos	mg/L	2540-B	100	1,000.4
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		7,012.0

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
 **TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



6016

7.75

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

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

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica		Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay	Fecha	Lamina

Anexo 9 Análisis físico-químico del AR después del tratamiento (coagulación química)

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: Sr. José Paguay

Fecha de Análisis: 21 de febrero del 2013

Fecha de Entrega de Resultados: 5 de marzo del 2013

Tipo de muestras: Agua Residual de Lácteos

Localidad: Planta de Lácteos Tunshi ESPOCH Riobamba

Código LAT 023-13

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Turbiedad	UNT	2130-B		65.9
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	8440.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	4730.0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D		512.0
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/L	2540-E		178.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	2540-E		334.0

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

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
			Fecha	Lamina	Escala
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay			

Anexo 10 Análisis físicos-químicos del AR de la Planta de Lácteos 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: Sr. José Paguay

Fecha de Análisis: 23 de Enero del 2013

Fecha de Entrega de Resultados: 7 de febrero del 2013

Tipo de muestras: Agua Residual de Lácteos

Localidad: Planta de Lácteos Tunshi ESPOCH Riobamba

Código LAT/008-13

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	6.6
Turbiedad	UNT	2130-B		1800.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	4650.0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1.0	1500.0

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed. **TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.

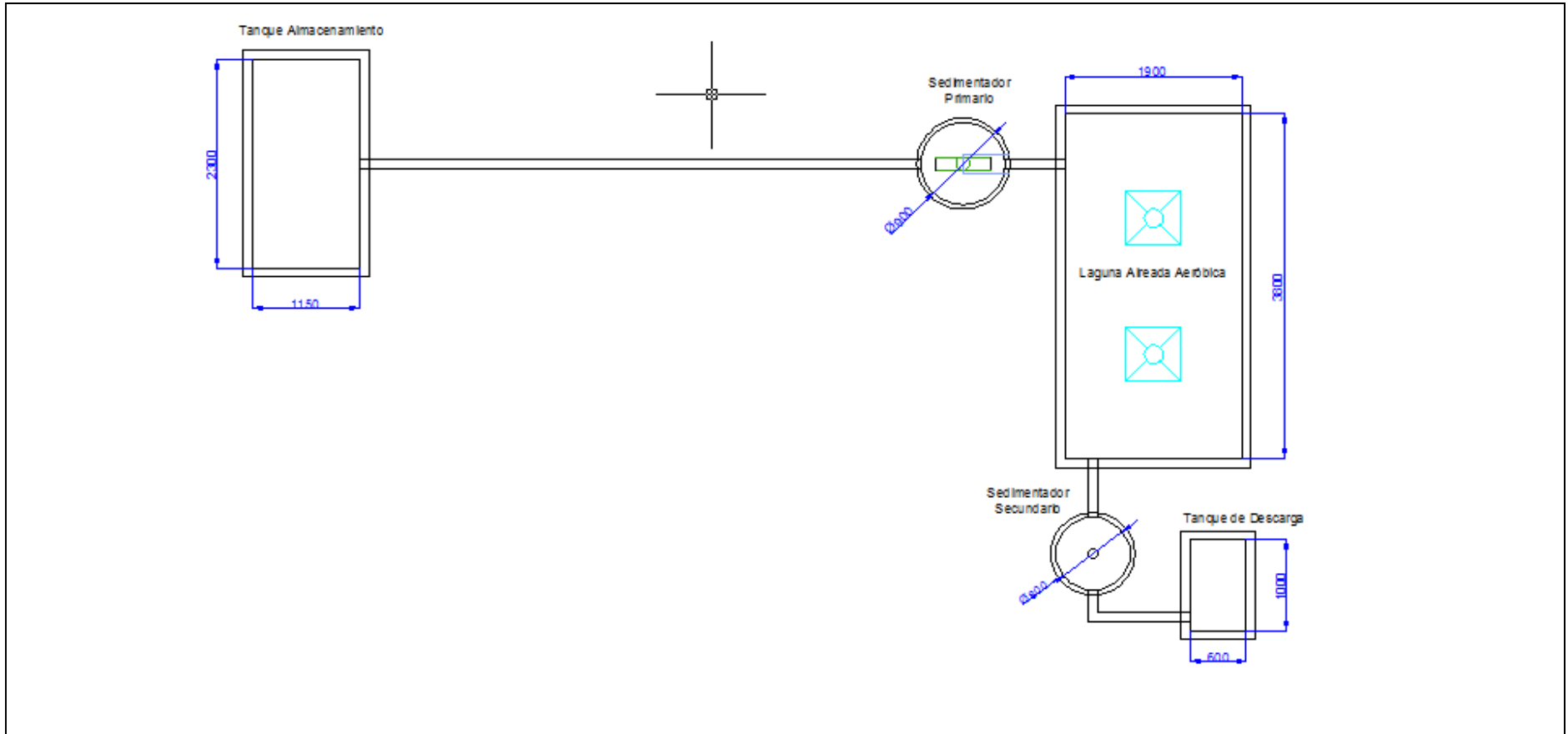

Dra. Gina Álvarez R.



RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

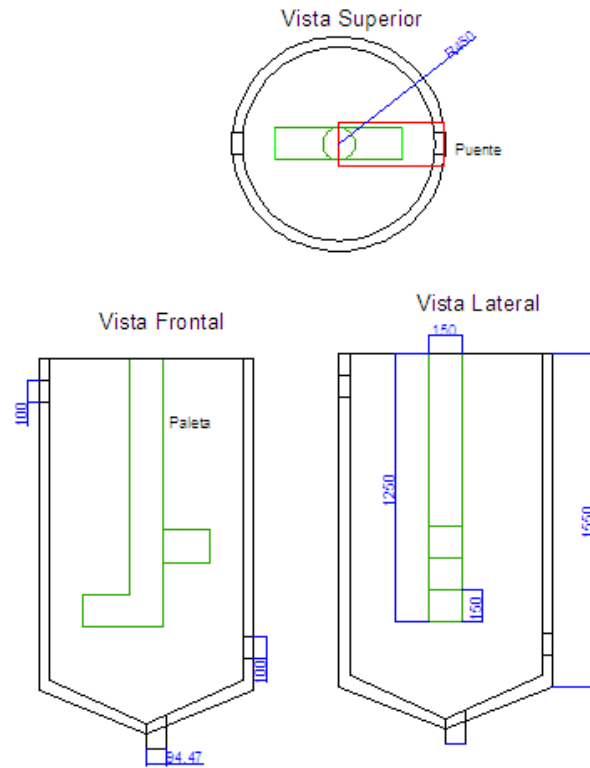
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
			Fecha	Lamina	Escala
	Certificado Por aprobar Aprobado Para información Por califica	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química José Paguay			


Anexo 11 Vista de la planta de Tratamiento del AR.



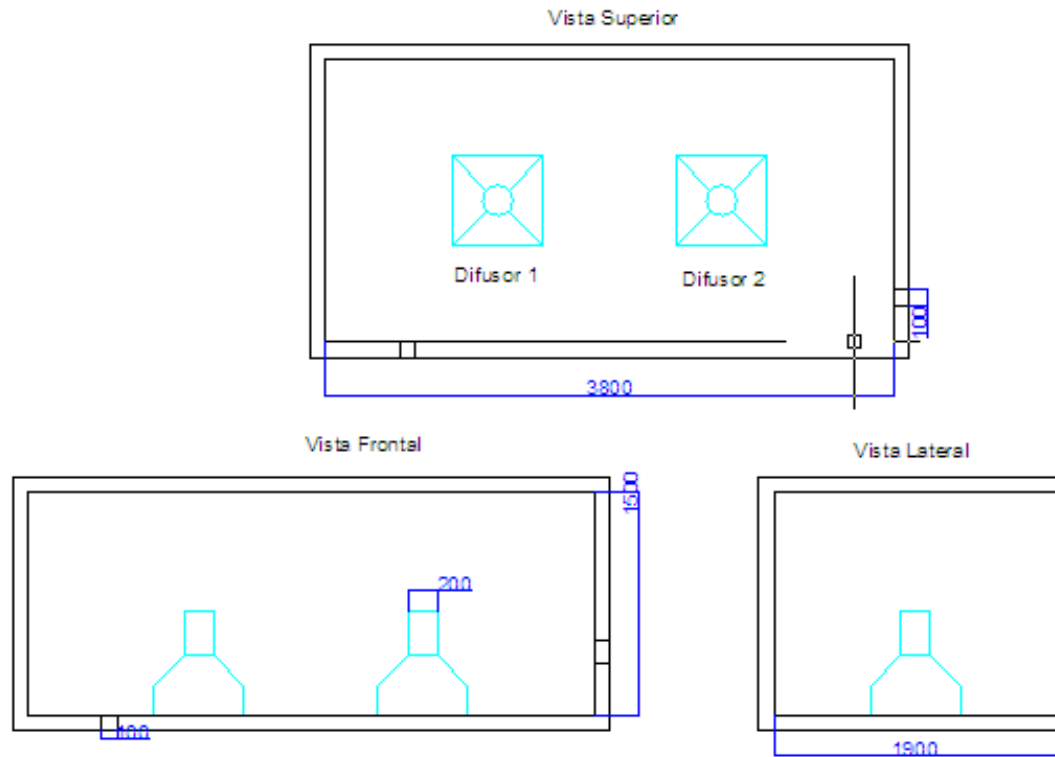
Realizado por: José Paguay	 <p>ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ing. Química</p>	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
Revisado por: Ing. Cesar Avalos Dr. Gerardo León		Vista de la planta de Tratamiento del AR		
		N:	Escala	Fecha
		1	1: 100	22/04/2013


Anexo 12 Vista del Sedimentador Primario.



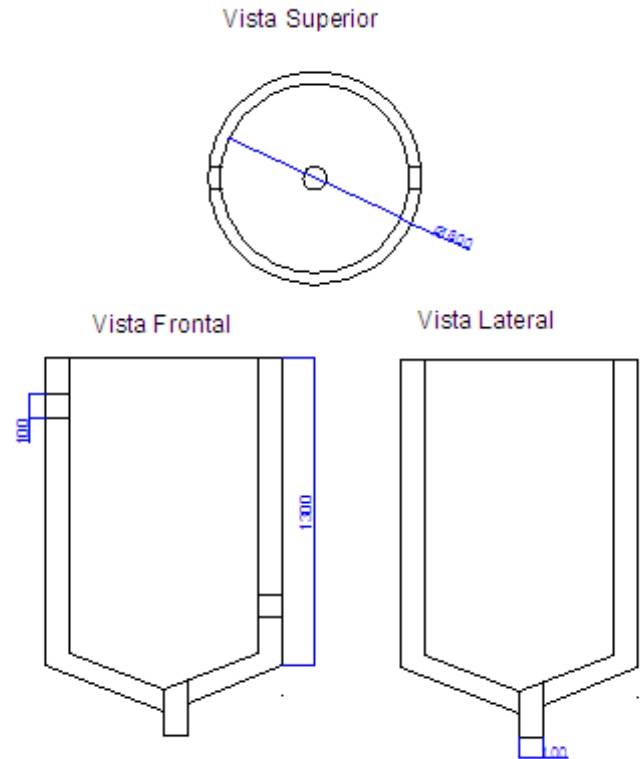
Realizado por: José Paguay	 <p>ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ing. Química</p>	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
Revisado por: Ing. Cesar Avalos Dr. Gerardo León		Vista del Sedimentador Circular Primario		
		N:	Escala	Fecha
		2	1: 100	22/04/2013


Anexo 13 Vista de la Laguna Aireada.



Realizado por: José Paguay	 <p>ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ing. Química</p>	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
Revisado por: Ing. Cesar Avalos Dr. Gerardo León		Vista de la Laguna Aireada de Mescla Completa		
		N:	Escala	Fecha
		3	1: 100	22/04/2013

Anexo 14 Vista del Sedimentador Secundario.



Realizado por: José Paguay	 <p>ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ing. Química</p>	Tratamiento del AR de la Planta de Lácteos ESPOCH		
Revisado por: Ing. Cesar Avalos Dr. Gerardo León		Vista del Sedimentador Circular Secundario		
		N:	Escala	Fecha
		4	1: 100	22/04/2013

