



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA  
RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS LACTOGAL  
CIA. LTDA.”**

**Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**Presentado por:**

**EDGAR MAURICIO GUAÑA BALAREZO**

**Riobamba - Ecuador**

**2014**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por ser guía durante mi formación académica y permitir culminar con éxito una etapa más en mi vida, sé que sin su bendición no lo hubiese logrado.*

*Agradezco a mi querida madre Roció Balarezo, quien con gran esfuerzo y cariño supo apoyarme y estar a mi lado en los momentos más difíciles que tuve que atravesar. A mi padre Edgar Guaña por haber inculcado en mí el deseo de superación. A mi hermano Danilo Guaña, quien con su ejemplo y apoyo hizo que en mí crezca las ganas de triunfar a pesar de las dificultades. Agradezco también a toda mi familia por haber confiado en mí en toda instancia y puesto en su momento un granito de arena que fue de gran ayuda para la consecución de esta nueva meta.*

*Un agradecimiento especial a mi novia Gloria Camacho por estar a mi lado con su apoyo incondicional de principio a fin en mi carrera universitaria.*

*A la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera particular al Dr. Gerardo León miembro y al Ing. José Usiña director del presente trabajo de tesis, quienes con sus consejos veraces y oportunos supieron guiarme durante la realización de mi trabajo de grado.*

*A la industria Lactogal por apoyar el desarrollo de este trabajo investigativo dentro de sus instalaciones.*

## **DEDICATORIA**

*Todo el esfuerzo de este trabajo investigativo dedico con mucho cariño y amor a mis hijitas Karlita Dalila y María José, ya que ellas fueron la inspiración para seguir adelante y culminar mis estudios universitarios. También a mis queridos padres Rocío y Edgar que me apoyaron en todo momento y son parte primordial en mi vida.*

*A mi hermano Danilo quien es un ejemplo de superación, a mi hermanita Karlita, que desde el cielo ha iluminado mi camino hacia la consecución de este mi gran sueño.*

*Dedico con mucho amor a mi novia Gloria, por compartir durante todo este tiempo mis triunfos y fracasos.*

**NOMBRE**

**FECHA**

**FIRMA**

Dr. Silvio Alvares L.

.....

.....

**DECANO FAC. CIENCIAS**

Ing. Mario Villacrés A.

.....

.....

**DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA**

Ing. José Usiña.

.....

.....

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Gerardo León Ch.

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tglo. Carlos Rodríguez.

.....

.....

**DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN**

## **HOJA DE RESPONSABILIDAD**

*“Yo, **EDGAR MAURICIO GUAÑA BALAREZO** soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y en patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**”*

**Edgar Mauricio Guaña Balarezo**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área
$A_e$	Superficie efectiva sumergida del tamiz
$A_H$	Área del tanque Homogenizador
$A_p$	Área de paso entre barras
$A_{tc}$	Área transversal del canal
$A_{Req}$	Aire requerido
AR	Agua Residual
$\alpha$	Factor de correlación para transferencia de oxígeno
B	Ancho de la rejilla
$\beta$	Factor de correlación para la salinidad y tensión superficial
C	Coefficiente adimensional de descarga del tamiz
$C_L$	Concentración de oxígeno disuelto
$C'_{sw}$	Concentración media de saturación de oxígeno disuelto
$C_{ST}$	Valor de saturación de oxígeno en el agua pura
$C_{sp}$	Carga de superficie
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
$b$	Base del canal
E	Eficiencia
$e$	Espesor de las barras
FM	Factor de Mayorización
$F/M$	Relación alimento/microorganismos

$f$	Factor de conversión de $\text{DBO}_5$ en $\text{DBO}_L$
$\emptyset$	Ángulo de inclinación de la rejilla
$\varphi$	Diámetro
$G$	Gradiente de velocidad medio
$g$	Aceleración de la gravedad
$h_c$	Altura del canal
$h_H$	Altura del tanque Homogenizador
$h_l$	Perdida de carga
$K_d$	Coefficiente de degradación endógena
$L_{sg}$	Longitud de rejilla sumergida
MBR	Reactor biológico de membrana
$N_b^\circ$	Numero de barras
N	Tasa de transferencia total de oxígeno
$N_0$	Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de referencia
$N_{dif}$	Numero de difusores
$n$	Coefficiente de maning
$nr$	Velocidad de rotación
$n_{m\acute{a}x}$	Nivel máximo
P	Potencia
$P_V$	Presión de vapor
$P_X$	Producción de lodo
Q	Caudal
$Q_D$	Caudal de diseño
$R_{HC}$	Radio hidráulico del canal

$r$	Radio
$S$	Gradiente hidráulico
$S_0$	Concentración de DBO en el afluente
$S$	Concentración de DBO en el efluente
$T$	Temperatura
TSS	Total de sólidos suspendidos
TSD	Total de sólidos disueltos
$T_{RH}$	Tiempo de retención hidráulica
$t$	Tiempo
$\theta_{rc}$	Tiempo medio de retención celular
$\mu$	Viscosidad dinámica
$V$	Volumen
$V_a$	Volumen del tanque de aireación
$V_{ap}$	Velocidad de aproximación
$V_c$	Velocidad de circulación entre las barras de la reja
$V_H$	Volumen del tanque Homogenizador
$V_s$	Volumen del sedimentador
$W$	Separación entre barras
$WO_2$	Requerimiento de oxígeno
$X$	Concentración de sólidos suspendidos volátiles
$Y$	Coefficiente de producción celular
$Y_{obs}$	Producción observada



## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>I</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>II</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>IV</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>V</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>VII</b>

### **CAPITULO I**

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>EL AGUA .....</b>	<b>1</b>
1.1.1	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AGUA .....	2
1.1.2	CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	3
1.1.2.1	PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LAS AGUAS .....	4
<b>1.2</b>	<b>INDUSTRIA LÁCTEA .....</b>	<b>5</b>
1.2.1	PLANTA DE LÁCTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.....	6
1.2.2	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES.....	8
1.2.3	CONSUMO DE AGUA.....	9
1.2.4	CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	11
1.2.4.1	FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACIÓN .....	11
<b>1.3</b>	<b>AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>13</b>
1.3.1	AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	14

1.3.1.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS GENERADORAS DE RESIDUOS Y EFLUENTES DE CADA PROCESO .....	15
1.3.1.2	COMPOSICIÓN .....	19
<b>1.4</b>	<b>TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>20</b>
1.4.1	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	21
1.4.2	NIVELES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	22
1.4.2.1	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	22
1.4.2.1.1	Desbaste.....	22
1.4.2.1.2	Remoción de Arena .....	22
1.4.2.1.3	Sedimentación .....	23
1.4.2.1.4	Flotación.....	23
1.4.2.2	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	23
1.4.2.2.1	Lechos Bacterianos.....	24
1.4.2.2.2	Fangos Activos .....	25
1.4.2.2.3	Reactor Biológico de Membrana MBR .....	25
1.4.2.2.4	Sedimentación Secundaria.....	25
1.4.2.3	TRATAMIENTO TERCIARIO.....	26
1.4.2.3.1	Filtración.....	26
1.4.2.3.2	Lagunaje .....	26
1.4.2.3.3	Tierras Húmedas Construidas .....	27
1.4.2.3.4	Desinfección .....	27
<b>1.5</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>27</b>
1.5.1	CAUDAL.....	27
1.5.2	DISEÑO DEL CANAL .....	28
1.5.2.1	ÁREA TRANSVERSAL DEL CANAL .....	28
1.5.2.2	RADIO HIDRÁULICO.....	28

1.5.3	REJILLAS .....	29
1.5.3.1	VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN A LA REJILLA.....	29
1.5.3.2	CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO.....	30
1.5.3.3	ÁREA ENTRE BARRAS DE LA REJILLA .....	31
1.5.3.4	DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD SUMERGIDA DE LA REJILLA EN EL AGUA RESIDUAL.....	31
1.5.3.5	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE BARRAS EN LA REJILLA .....	32
1.5.3.6	PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LA REJA .....	32
1.5.4	HOMOGENEIZACIÓN DE CAUDALES .....	33
1.5.4.1	ÁREA DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR .....	34
1.5.4.2	VOLUMEN DEL HOMOGEINIZADOR.....	34
1.5.5	MEZCLADO .....	35
1.5.5.1	ENERGÍA DISIPADA EN EL MEZCLADO.....	35
1.5.5.2	GRADIENTE DE VELOCIDAD DE UN FLUIDO .....	36
1.5.6	LODOS ACTIVADOS .....	37
1.5.6.1	CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	38
1.5.6.1.1	REACTOR.....	38
1.5.6.1.2	EFICIENCIA.....	39
1.5.6.1.3	CRITERIOS DE CARGA .....	40
1.5.6.1.4	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN EL TANQUE DE AIREACIÓN ...	40
1.5.6.1.5	PRODUCCIÓN DE LODO .....	41
1.5.6.1.6	REQUERIMIENTO DE OXIGENO .....	42
1.5.6.2	AIREACIÓN A TRAVÉS DE DIFUSORES.....	43
1.5.6.2.1	Transferencia de Oxígeno a través del difusor.....	43
1.5.6.2.2	Correlación de $C_{sw}$ .....	44
1.5.6.2.3	Cantidad de aire requerido.....	44
1.5.6.2.4	Potencia Requerida .....	44

1.5.7	SEDIMENTACIÓN.....	45
1.5.7.1	SEDIMENTACIÓN PRIMARIA.....	45
1.5.7.1.1	Área del Sedimentador .....	46
1.5.7.1.2	Cálculo del Diámetro del Sedimentador .....	47
1.5.7.1.3	Cálculo del radio del Sedimentador.....	47
1.5.7.1.4	Cálculo del Volumen del Sedimentador .....	48
1.5.7.1.5	Cálculo del área de la sección transversal.....	50
1.5.7.1.6	Tiempo de Retención Hidráulica .....	50
1.5.8	FILTRACIÓN.....	51
1.5.8.1	FILTRACIÓN EN GRAVA Y ARENA .....	51
1.5.8.2	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE .....	52
1.5.8.3	DISEÑO DEL FILTRO.....	54
1.5.8.3.1	TIEMPO DE RETENCIÓN.....	54
1.5.8.3.2	CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA .....	54
<b>1.6</b>	<b>NORMATIVA AMBIENTAL .....</b>	<b>55</b>
1.6.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....	55
1.6.2	LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL .....	55
1.6.3	TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULAS).....	56
1.6.4	LEY ORGÁNICA DE LA SALUD .....	57

## **CAPITULO II**

<b>2</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>59</b>
<b>2.1</b>	<b>MUESTREO .....</b>	<b>59</b>
2.1.1	MEDICIÓN DE CAUDALES .....	59
2.1.2	PLANIFICACIÓN DE MUESTREO .....	60
<b>2.2</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>61</b>

2.2.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	61
2.2.1.1	MÉTODOS.....	61
2.2.1.1.1	Deductivo.....	61
2.2.1.1.2	Experimental.....	62
2.2.1.2	TÉCNICAS .....	62
2.2.1.2.1	Análisis del Agua.....	62
<b>2.3</b>	<b>DATOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>70</b>
2.3.1	DIAGNÓSTICO .....	70
2.3.2	DATOS .....	71
2.3.2.1	PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS.....	71
2.3.3	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	72
2.3.3.1	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL.....	72
2.3.3.2	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS PARÁMETROS A CONSIDERAR.....	73
2.3.4	PROCESO DE TRATABILIDAD. “TEST DE JARRAS”.....	73
2.3.4.1	ENSAYO DE BOTELLAS .....	73
2.3.4.2	ENSAYO DE JARRAS.....	74
2.3.4.3	PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN .....	79
2.3.4.4	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.....	80
2.3.5	QUÍMICOS REQUERIDOS.....	82
2.3.5.1	SULFATO DE ALUMINIO.....	82
2.3.5.2	CAL (OXIDO DE CALCIO) .....	83
<b>2.4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>2.5</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>

## **CAPITULO III**

<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS LACTOGAL CIA. LTDA. ....</b>	<b>87</b>
<b>3.1</b>	<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....</b>	<b>87</b>
<b>3.2</b>	<b>CÁLCULOS DE INGENIERÍA .....</b>	<b>87</b>
3.2.1	CAUDAL DE DISEÑO .....	87
3.2.2	CÁLCULOS PARA EL CANAL .....	88
3.2.2.1	ÁREA TRANSVERSAL DEL CANAL .....	88
3.2.2.2	RADIO HIDRÁULICO.....	88
3.2.3	CÁLCULOS PARA LAS REJILLAS .....	89
3.2.3.1	VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN A LA REJILLA .....	89
3.2.3.2	ÁREA ENTRE BARRAS DE LA REJILLA .....	90
3.2.3.3	LONGITUD SUMERGIDA DE LA REJILLA EN EL AGUA RESIDUAL .....	90
3.2.3.4	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE BARRAS EN LA REJILLA .....	91
3.2.3.5	PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LA REJA .....	91
3.2.4	CÁLCULOS PARA EL HOMOGENIZADOR.....	91
3.2.4.1	ÁREA DEL TANQUE HOMOGENIZADOR.....	91
3.2.4.2	VOLUMEN DEL HOMOGENIZADOR.....	92
3.2.5	MEZCLADO .....	92
3.2.5.1	ENERGÍA DISIPADA EN EL MEZCLADO.....	92
3.2.5.2	GRADIENTE DE VELOCIDAD DE UN FLUIDO .....	92
3.2.6	CÁLCULOS PARA EL TANQUE DE AIREACIÓN.....	93
3.2.6.1	EFICIENCIA.....	94
3.2.6.2	VOLUMEN DEL REACTOR.....	94
3.2.6.3	TIEMPO DE RETENCIÓN .....	94
3.2.6.4	CRITERIO DE CARGA (RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS) .....	95

3.2.6.5	PRODUCCIÓN DE LODO.....	95
3.2.6.6	REQUERIMIENTO DE OXIGENO.....	96
3.2.7	AIREACIÓN A TRAVÉS DE UN DIFUSOR .....	96
3.2.7.1	CORRELACIÓN DE $C_{sw}$ .....	96
3.2.7.2	TRANSFERENCIA DE OXIGENO.....	96
3.2.7.3	CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO.....	97
3.2.7.4	POTENCIA REQUERIDA .....	97
3.2.8	CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR.....	98
3.2.8.1	ÁREA DEL SEDIMENTADOR .....	98
3.2.8.2	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL SEDIMENTADOR .....	98
3.2.8.3	CÁLCULO DEL RADIO DEL SEDIMENTADOR.....	98
3.2.8.4	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PARTE CILÍNDRICA DEL SEDIMENTADOR.....	98
3.2.8.5	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PARTE CÓNICA DEL SEDIMENTADOR .....	99
3.2.8.6	VOLUMEN TOTAL DEL SEDIMENTADOR.....	99
3.2.8.7	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.....	99
3.2.9	CÁLCULOS PARA EL FILTRO .....	100
3.2.9.1	CÁLCULO DEL VOLUMEN.....	100
3.2.9.2	TIEMPO DE RETENCIÓN .....	100
3.2.9.3	CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA .....	101
<b>3.3</b>	<b>RESUMEN DE LOS EQUIPOS DISEÑADOS QUE FORMAN PARTE DEL SISTEMA.....</b>	<b>101</b>
3.3.1	CANAL.....	101
3.3.2	REJILLAS .....	102
3.3.3	TANQUE HOMOGENIZADOR.....	102
3.3.4	MEZCLADO .....	103
3.3.5	TANQUE DE AIREACIÓN.....	103

3.3.6	SEDIMENTADOR .....	104
3.3.7	FILTRO .....	104
<b>3.4</b>	<b>PROPUESTA .....</b>	<b>105</b>
3.4.1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	107
3.4.2	COSTOS APROXIMADOS DE LA PROPUESTA .....	108
<b>3.5</b>	<b>ALTERNATIVA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO .....</b>	<b>109</b>
3.5.1	COSTOS APROXIMADOS DE LA ALTERNATIVA .....	110
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>111</b>

## **CAPITULO IV**

<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
4.1	CONCLUSIONES .....	114
4.2	RECOMENDACIONES .....	116

## **CAPITULO V**

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>115</b>



## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Productos Elaborados en la Planta .....	7
Figura 2: Fuentes de Contaminación en la Industria Láctea Lactogal.....	11
Figura 3. Esquema del proceso de elaboración de la leche pasteurizada .....	15
Figura 4. Esquema del proceso de elaboración del Queso fresco.....	16
Figura 5. Esquema del proceso de elaboración del Yogurt .....	17
Figura 6: Depuradora de Aguas Residuales.....	21
Figura 7. Proceso Convencional de Lodos Activos.....	37
Figura 8: Filtro de Arena y Grava.....	52
Figura 9: Ensayo de Botellas .....	74
Figura 10. Alternativa al sistema de tratamiento Propuesto .....	109

## **INDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO I**

Tabla 1-1: Principales características de las Aguas .....	2
Tabla 1-2: Composición de 1 litro de Leche de Vaca.....	6
Tabla 1-3: (%) de Leche destinada a Productos Lácteos .....	8
Tabla 1-4: Valoración Cualitativa del Consumo de Agua en la Industria Láctea .....	10
Tabla 1-5: Contaminantes de la Industria Láctea .....	12
Tabla 1-6: Fuentes Principales de Vertidos .....	18
Tabla 1-7: Información típica para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual y mecánica .....	30

Tabla 1-8: Gradiente de Velocidad (G) y tiempo de detención típico de los procesos de tratamiento de aguas residuales .....	36
Tabla 1-9: Coeficientes cinéticos para el proceso de Lodos Activados .....	42
Tabla 1-10: Parámetros de diseño para procesos de Lodos Activados.....	42
Tabla 1-11: Estándares de diseño para sedimentadores primarios según algunas referencias .....	45
Tabla 1-12: Información típica para el diseño de tanques de decantación primaria.....	46
Tabla 1-13: Información típica para el diseño de tanques de decantación rectangulares y circulares utilizados en el tratamiento primario de AR .....	49
Tabla 1-14: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público .....	56
Tabla 1-15: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....	57

## **CAPITULO II**

Tabla 2 -1: Determinación del pH .....	63
Tabla 2 -2: Determinación de Sólidos Totales método APHA 2540 B .....	64
Tabla 2 -3: Determinación de Sólidos Suspendedos Totales método APHA 2540 D.....	65
Tabla 2 -4: Determinación de Sólidos Sedimentables método APHA 2540 B .....	66
Tabla 2 -5: Determinación de la DQO método APHA 5220 D.....	67
Tabla 2 -6: Determinación de la DBO método APHA 5210 B .....	68
Tabla 2 -7: Determinación de Coliformes Fecales .....	69
Tabla 2 -8: Producción de Lácteos (Mayo 2013 - Septiembre 2013).....	71
Tabla 2 -9: Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos del AR .....	72
Tabla 2 -10: Parámetros Importantes a Considerar .....	73

Tabla 2 -11: Ensayo del Tratamiento con Policloruro de Aluminio y Floculante.....	76
Tabla 2 -12: Pruebas Experimentales del Tratamiento con Sulfato de Aluminio Variando el pH.....	77
Tabla 2 -13: Prueba Experimental en el Tratamiento Con Sulfato de Aluminio.....	78
Tabla 2 -14: Tiempo de Sedimentación.....	79
Tabla 2 -15: Análisis Fisicoquímico después del tratamiento con Policloruro de Aluminio	80
Tabla 2 -16: Análisis fisicoquímico después del tratamiento con Sulfato de Aluminio.....	81
Tabla 2 -17: Valores Comparativos de los parámetros antes y después del Tratamiento ....	84

### **CAPITULO III**

Tabla 3 -1: Resumen del Dimensionamiento del Canal .....	101
Tabla 3 - 2: Resumen del Dimensionamiento del Sistema de Rejillas .....	102
Tabla 3 - 3: Resumen del Dimensionamiento del tanque Homogenizador .....	102
Tabla 3-4: Resumen del Mezclado .....	103
Tabla 3-5: Resumen del dimensionamiento del Tanque de Aireación .....	103
Tabla 3 - 6: Resumen del Dimensionamiento del Sedimentador.....	104
Tabla 3-7: Resumen del Dimensionamiento del Filtro.....	104
Tabla 3 - 8: Material filtrante para el Filtro .....	105

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b>		<b>Página</b>
1.5.1-1	Determinación del caudal.....	27
1.5.2.1-1	Área transversal del canal.....	28
1.5.2.2-1	Radio Hidráulico del canal.....	28
1.5.3.1-1	Velocidad de aproximación a la rejilla.....	29
1.5.3.3-1	Área entre barras de la rejilla.....	31
1.5.3.4-1	Longitud sumergida de la rejilla.....	31
1.5.3.4-2	Nivel máximo.....	31
1.5.3.5-1	Numero de barras en la rejilla.....	32
1.5.3.6-1	Perdida de carga a través de la rejilla.....	32
1.5.3.6-2	Perdida de carga a través de un tamiz.....	33
1.5.4.1-1	Área del tanque Homogenizador.....	34
1.5.4.2-1	Volumen del Homogenizador.....	34
1.5.5.1-1	Energía disipada en el mezclado.....	35
1.5.5.2-1	Gradiente de velocidad de un fluido.....	36
1.5.6.1.1-1	Volumen del Aireador.....	39
1.5.6.1.2-1	Eficiencia del Aireador.....	39
1.5.6.1.3-1	Criterios de carga.....	40
1.5.6.1.4-1	Tiempo de retención hidráulica del Aireador.....	40
1.5.6.1.5-1	Producción de lodo.....	41
1.5.6..1.5-2	Producción observada.....	41
1.5.6.1.6-1	Requerimiento de oxígeno.....	42
1.5.6.2.1-1	Transferencia de oxígeno del difusor.....	43
1.5.6.2.2-1	Correlación de $C_{sw}$ .....	44

1.5.6.2.3-1	Aire requerido.....	44
1.5.6.2.4-1	Potencia requerida.....	44
1.5.7.1.1-1	Carga superficial.....	46
1.5.7.1.1-2	Área del sedimentador.....	46
1.5.7.1.2-1	A partir del área del sedimentador.....	47
1.5.7.1.2-2	Diámetro del sedimentador.....	47
1.5.7.1.3-1	Radio del sedimentador.....	47
1.5.7.1.4-1	Volumen de un sedimentador rectangular.....	48
1.5.7.1.4-2	Área de un sedimentador rectangular.....	48
1.5.7.1.4-3	Relación largo/ancho.....	48
1.5.7.1.4-5	Volumen de un sedimentador circular.....	49
1.5.7.1.5-1	Área de la sección transversal.....	50
1.5.7.1.6-1	Tiempo de retención hidráulico.....	50
1.5.8.2-1	Eficiencia del filtro.....	53
1.5.8.3.1-1	Tiempo de retención del filtro.....	54
1.5.8.3.2-1	Carga orgánica volumétrica.....	54
2.3.5.1-1	Requerimiento de sulfato de aluminio.....	82
2.5.1.2-1	Requerimiento de cal.....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medición de Caudales .....	121
Anexo 2. Caja de Retención Contaminada .....	122
Anexo 3. Ensayo de Jarras con Policloruro de Aluminio .....	123
Anexo 4. Ensayo de Jarras con Sulfato de Aluminio .....	124
Anexo 5. Análisis Físico-químicos 1 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal ..	125
Anexo 6. Análisis Microbiológico 1 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal ...	126
Anexo 7. Análisis Físico-químicos 2 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal ..	127
Anexo 8. Análisis Microbiológico 2 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal ...	128
Anexo 9. Análisis Físico-químico y Microbiológico 3 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal .....	129
Anexo 10. Análisis Físico-químico del agua después del tratamiento con Policloruro de Aluminio .....	130
Anexo 11. Análisis Físico-químico del agua después del tratamiento con Sulfato de Aluminio .....	131
Anexo 12. Procedimiento de la adición de Insumos Químicos .....	132
Anexo 13. Vista de las Rejillas y Tanque Homogenizador .....	137
Anexo 14. Vista del Tanque de Aireación .....	138
Anexo 15. Vista del Sedimentador .....	139
Anexo 16. Vista del Filtro de flujo Ascendente.....	140

## **RESUMEN**

En el presente trabajo investigativo se diseñó el sistema de tratamiento del agua residual en la planta de lácteos Lactogal Cía. Ltda., ubicada en la Parroquia de Alóag, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Para lo cual nos basamos en el método experimental, que permitió realizar análisis antes y después del tratamiento y ensayos para encontrar la dosis óptima de insumos químicos para este efluente. Conforme a las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas, determinamos la necesidad de diseñar un sistema que permita reducir turbidez, DBO, DQO y sólidos en dicho fluido.

Empezamos midiendo el caudal medio que descarga esta industria siendo de 0,32 L/s que transitara a través de un canal dispuesto de un sistema de rejillas, y direccionado a un tanque Homogenizador con una capacidad de 6 m<sup>3</sup>, luego pasara a un tanque de aireación para reducir materia orgánica, posteriormente llegara a un sedimentador con capacidad de 5 m<sup>3</sup> donde se dará un proceso de coagulación-floculación, disminuyendo la turbidez de 836 NTU a 65NTU, la DBO de 4260 mg/L a 245 mg/L y la DQO de 7333 mg/L a 790 mg/L, finalmente el agua clarificada se desplazara a través de un filtro de flujo ascendente.

Con las etapas ejecutadas se logró reducir el valor de turbidez, DBO, DQO y sólidos consiguiendo un agua apta para ser descargada directamente al sistema de alcantarillado.

Recomendamos a la industria láctea Lactogal la implementación del sistema de tratamiento del agua residual generada, para contribuir a la conservación de los recursos naturales del sector.

## **SUMMARY**

In this research, work a system of wastewater in the dairy company Lactogal Cia Ltda, in Alóag town, city of Mejía was designed.

Experimental method was used in order analyze before and after the treatment and essays to seek appropriate dose of chemistry supplies for this effluent. According to the physico-chemical and microbiological characterizations, it was determined the necessity to design a system that reduce turbidity, BOD, COD, and solids from that fluid.

The average flow that this industry discharged was measured. It was 0.32 L/s that goes through canal of grid system, and addressed to a homogenizer tank with a capacity of 6m<sup>3</sup>, after it will pass to a tank of aeration to reduce organic matter, then it will go through settler with a capacity of 5m<sup>3</sup> where a coagulation-flocculation will be done by decreasing the turbidity from 836 UTN to 65 UTN, the BOD from 4260 mg/L to 245 mg/L, and the COD from 7333 mg/L to 790 mg/L. Finally, clarified water will go through an up flow filter.

With all of this stages executed the values of turbidity, BOD, COD, and solids were reduced, so it generated water to be discharged to the sewerage system.

It is recommended to the dairy company Lactogal the implementation of system of residual water generated in order to contribute preservation of natural resources of the sector.



## **INTRODUCCIÓN**

La industria láctea genera una elevada cantidad de agua residual, reuniendo en esta un gran número de contaminantes provenientes principalmente de los procesos de elaboración de productos lácteos.

Las aguas residuales del sector lácteo se caracterizan por contener una gran cantidad de materia orgánica, especialmente aceites y grasas, además de sólidos tanto disueltos como suspendidos y valores de pH que se salen de los parámetros aceptables establecidos en la legislación ambiental para vertimientos. Como materia orgánica disuelta se encuentra presente sustancias como la lactosa, ciertos minerales y también pueden hallarse suspensiones de proteínas de tipo coloidal como proteínas, albuminas, globulinas.

Además de residuos líquidos la industria láctea genera malos olores y polvo. Las aguas de desecho de la industria de productos lácteos contienen azúcares, proteínas, grasas, etc. Estos elementos contaminantes proporcionan al agua un elevado DBO (principalmente de la elaboración de la crema, la mantequilla y del queso), y un alto DQO, así como sólidos suspendidos totales (TSS) y Total de sólidos disueltos (TSD).

Las aguas residuales de las industrias lácteas son habitualmente neutras o poco alcalinas, pero poseen una tendencia a acidificarse rápidamente debido a la fermentación del azúcar de la leche dando lugar a la formación de ácido láctico y aparición del ácido butírico, esta acción hace que el valor de pH descienda aproximadamente a 4,5 – 5,0. El consumo de agua dentro del sector industrial lácteo es de aproximadamente dependiendo de los productos que se elaboren y de los procesos para conseguirlos.

## **ANTECEDENTES**

La Provincia de Pichincha forma parte de la República del Ecuador. Se encuentra ubicada al norte del país, en la región sierra y adquiere su nombre del volcán, ubicado al centro norte de esta, en su capital Quito. La Provincia de Pichincha limita al norte con las provincias de Imbabura y Sucumbíos, al sur con la Provincia de Cotopaxi, al este con la Provincia de Napo, al oeste con Santo Domingo de los Tsáchilas y al noroeste con la Provincia de Esmeraldas. Tiene una extensión territorial de 9.494 km<sup>2</sup>.

La Parroquia de Alóag está ubicada en el Cantón Mejía, Provincia de Pichincha. Las actividades a las que se dedican las personas que aquí habitan son eminentemente agrícolas y ganaderas. Las papas, remolacha, habas, zanahoria, el maíz entre otros son los principales productos que se cultiva en esta zona, siendo una fuente de trabajo para las personas dedicadas a esta actividad. Por otro lado el trabajo ofrecido por las fábricas que se ubican en esta localidad como es el caso de ADELCA y muchas de las industrias de productos lácteos constituyen otra fuente de ingresos para la población.

Aquí se ubica la Planta de Lácteos, que tuvo su inicio en el año de 1993 con el nombre de Lácteos Verito, y hace un año adopto el nombre de Lactogal Cía. Ltda. Cuenta con equipos de pasteurización, producción de quesos y yogurt. La materia prima es adquirida a los pequeños productores de leche de diferentes zonas de la Parroquia. La industria láctea Lactogal Cía. Ltda., tiene como fin crecer y mejorar tanto en su infraestructura como en la calidad de sus productos para la satisfacción de su distinguida clientela y elevar las ventas de sus productos en el mercado nacional, conjuntamente con el progreso de la zona donde se sitúa la planta.

## **JUSTIFICACIÓN**

La protección y conservación de los recursos hídricos es un tema que ha despertado en la humanidad actual la búsqueda de soluciones para cuidarlos y recuperarlos con el fin de aprovechar al máximo este recurso. El agua al ser uno de los recursos de vital importancia en la vida y el desarrollo del hombre, debe ser tratada como tal con el fin de lograr su conservación.

Se puede observar claramente que con el paso de los años nuestros recursos naturales van escaseando debido al uso desmedido por parte del hombre, que a través de las diferentes actividades que realiza para satisfacer sus necesidades está contaminando aire, suelo y agua, reduciendo la vida de todos los seres que habitamos en este planeta. Nuestro país no es la excepción, la contaminación es cada vez más alta y en algunas ciudades se puede palpar ya como a nuestros hogares llega con menos fuerza y un reducido caudal de agua, como es el caso de la ciudad de Machachi, lugar de donde provengo.

La producción de lácteos a la que se dedica la industria, es una actividad que consume una gran cantidad de agua durante el procesamiento de la leche y por ende genera un volumen considerable de agua residual proveniente del proceso, lavado de equipos y limpieza de las instalaciones, misma que puede llegar a contaminar las fuentes de aguas naturales que presenta la zona. Cabe destacar que el Cantón Mejía y especialmente la Parroquia de Alóag en donde se encuentra ubicada la planta existe una gran cantidad de agua que proviene del subsuelo y que es utilizada con diversos fines por las personas que habitan en el lugar.

Es por esta razón la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento para el agua residual que genera la industria láctea, con el fin de disminuir el aporte a la contaminación del

ambiente, evitar en lo posible contaminar las fuentes naturales de agua existentes en la localidad, y promover un medio sano para el normal desarrollo de todas y cada una de las especies que nos rodean. Con estos fines la planta de lácteos se ha visto en la necesidad de realizar el trabajo investigativo que lleva como tema “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LACTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.” Esto en razón a lo establecido en la ley ambiental, específicamente en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo I, Recurso agua.

## **OBJETIVOS:**

### **GENERAL**

- Diseñar el Sistema de Tratamiento del Agua Residual en la Planta de Lácteos Lactogal Cía. Ltda.

### **ESPECÍFICOS**

- Identificar las características físico-químicas y microbiológicas del agua residual generada por la planta.
- Elegir el método de muestreo más adecuado para el agua residual de la planta.
- Plantear alternativas técnicamente viables para el sistema de tratamiento en base a los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual.
- Dimensionar los equipos que constituyen el sistema de tratamiento del agua.

# **CAPITULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

# CAPITULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 EL AGUA

El agua pura existente en nuestro planeta es considerada un recurso renovable importante, siendo un pilar significativo en el progreso de los pueblos y en el desarrollo de todas las especies que habitan en la tierra, sin embargo puede ser contaminada por las diferentes actividades que realiza el hombre, llegando a no ser útil y más bien convirtiéndose nociva para los seres vivos en general (14).

Desde algún tiempo atrás la sociedad ha venido trabajando con el fin de alcanzar una adecuada gestión de los recursos naturales bajo políticas que permitan la conservación de los mismos, sabiendo que el nivel de contaminación debido a un evidente crecimiento y desarrollo poblacional, sucesos naturales como grandes sequias y en definitiva el uso desmedido del agua, han llevado a un deterioro y escases importante de los recursos hídricos de todo el mundo (10).

Por lo que ha sido necesario implementar nuevas políticas sobre el agua, que durante los últimos tiempos ha venido evolucionando con el propósito de garantizar la calidad y la protección de este recurso, permitiendo que generaciones futuras puedan gozar en plenitud de este elemento vital (10).

### 1.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AGUA

Un agua antes de ser contaminada presenta una apariencia agradable, al igual que su olor y sabor, estas características se ven alteradas debido al uso del agua en procesos industriales, actividades domésticas, actividades comerciales, etc., que generan vertidos que a simple vista se pueden apreciar la contaminación que presentan, siendo una amenaza para la salud de las personas y que impiden el normal desarrollo de las especies tanto animales como vegetales que habitan en nuestro planeta. Las principales características del agua dulce como del agua residual se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 1-1: Principales características de las Aguas**

Tipo de agua / Características		Agua	Agua Residual
<b>Físicas</b>	Color	Incoloro	Negro o gris
	Olor	Inodoro	Desagradable
	Temperatura	18 °C	10 – 20 °C
<b>Químicas</b>	Densidad	0.999 Kg / L	1.07 Kg / L
	Sólidos en suspensión	Ausencia	Presencia
	Compuestos en Disolución	Ausencia	Presencia
	Componentes gaseosos	Ausencia	Presencia
<b>Biológicas</b>	Microorganismos	Ausencia	Presencia
	Coliforme Fecal (UFC/ 100 ml)	2000	2000 <
	Coliforme Total (UFC/ 10 ml)	20000	20000 <

**Fuente:** VALENCIA J. Tesis de Grado– 2012



### **1.1.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La contaminación hídrica o contaminación del agua, “Es la presencia en el agua de contaminante en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua.”<sup>1</sup>

La fuente de contaminación de agua más importante que existe hoy en día es la provocada por las actividades realizadas por el hombre en su afán de conseguir el desarrollo de sus pueblos a través de la industrialización de sus productos, esto es causa de un gran consumo de agua que después de ser utilizada es descargada como agua residual en muchos de los casos en cuerpos hídricos.

En general las aguas que están más expuestas a la contaminación con respecto a las aguas subterráneas son las superficiales, debido a que son utilizadas directamente en la actividad humana. Sin embargo una fuente superficial puede reponerse más rápidamente que una fuente de agua subterránea a través de ciclos de escorrentía estacionales.

La modificación de la calidad del agua por contaminantes, serán distintos para ríos, lagos, mares, embalses, y diferentes para acuíferos de roca o de arena y grava, dependiendo de cómo se de la contaminación de los mismos.

Y como todos sabemos el agua es un elemento fundamental para la vida de todas las especies que habitan en el planeta, por lo que su contaminación es sin lugar a duda un aspecto muy negativo para el desarrollo tanto económico como social de los pueblos o de las poblaciones próximas al lugar contaminado por diferentes medios (12).

---

<sup>1</sup>TULAS. Libro VI. Anexo 1. Recurso Agua.

### **1.1.2.1 PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LAS AGUAS**

“Los ecosistemas tienen la capacidad de limpiarse si reciben pequeñas cantidades de contaminantes, y retomar el equilibrio. El problema comienza cuando los contaminantes superan la capacidad de absorción del sistema.”<sup>2</sup>

Existen dos formas principales de contaminación del agua:

Una de las formas de contaminación tiene relación con el ciclo natural, que mientras éste tiene lugar, puede entrar en contacto con ciertos elementos contaminantes que se encuentran presentes en la corteza terrestre, en la atmósfera y en las aguas, como son: sustancias minerales y orgánicas que pueden estar disueltas o en suspensión (12).

El otro tipo de contaminación del agua, que sin duda es la más importante y perjudicial para el ecosistema es la que está relacionada con las acciones del hombre. Las causas más habituales por las que se da este tipo de contaminación son:

1. Efluentes provenientes de actividades domésticas.
2. El uso de sustancias químicas en la agricultura que se filtran por el subsuelo llegando a contaminar los cauces de agua limpia.
3. La generación de una gran cantidad de basura que es depositada a orillas de los ríos y cuerpos hídricos que durante su recorrido va arrastrando hasta llegar a los océanos.

---

<sup>2</sup><http://elblogverde.com/contaminacion-del-agua/>

4. Generación de aguas servidas, que en la mayoría de los casos son descargadas directamente a cuerpos de agua principalmente en sitios que no cuentan con un sistema de tratamiento.
5. Vertimientos con alto contenido de materia orgánica que al descomponerse consume gran cantidad de oxígeno del agua, limitando la existencia de especies presentes en el lugar.

## **1.2 INDUSTRIA LÁCTEA**

Las industrias pertenecientes al sector lácteo constituyen una fuente importante de contaminación de efluentes debido al elevado contenido de material orgánico, como proteínas y especialmente la presencia de lactosa que eleva sustancialmente el valor de la DBO. Dependiendo del proceso industrial que sufra la leche se van a generar cantidades diferentes de residuos y vertidos provenientes de cada una de las etapas de procesamiento.

Para lograr el proceso de pasteurización, la leche es sometida a un tratamiento térmico sufriendo cambios de temperatura, produciendo un efluente con una temperatura diferente a la del medio provocando una alteración en el agua. La leche no entra en contacto con otros productos durante el procesamiento, salvo con aditivos y sustancias estabilizantes para su conservación.

La leche contiene entre otras características, caseína (3%), lacto albumina (0.5%) y lacto globulina (0.05%), que son las tres proteínas principales, también posee pequeñas cantidades de sustancias nitrogenadas como; creatinina, aminoácidos, amoníaco y urea. A continuación se describe las características más importantes de la leche.

**Tabla 1-2: Composición de 1 litro de Leche de Vaca**

<b>Constituyentes</b>		<b>(g)</b>
<b>Energéticos</b>	Agua	900 – 910
	Extracto seco	125 – 130
	Grasa	35 – 45
	Extracto seco magro	90 – 95
	Lactosa	47 – 52
	Sustancias Nitrogenadas	33 – 36
	Sales	9 – 9.5
<b>Biocatalizadores</b>	Enzimas, vitaminas	
<b>Gases disueltos</b>	4-5% del volumen de leche a la salida de la mama, gas carbónico, oxígeno, nitrógeno...	

**Fuente:**[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf)

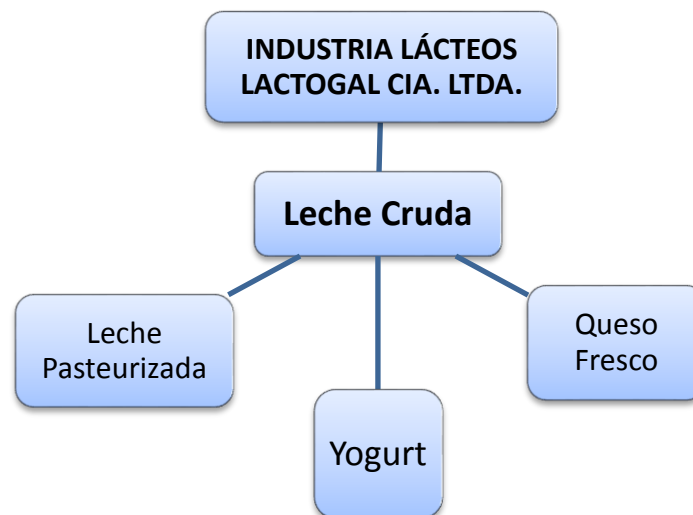
### **1.2.1 PLANTA DE LÁCTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.**

La planta de lácteos Lactogal está ubicada en la parroquia de Alóag, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, desde donde hace aproximadamente 20 años atrás se ha dedicado a la elaboración y comercialización de productos lácteos, mismos que son distribuidos a nivel nacional. La planta procesa aproximadamente entre 3000 y 4000 litros de leche al día, operando los siete días de la semana.

Las características nutritivas y el perfil de higiene con que son elaborados, han convertido a los productos lácteos en uno de los alimentos más consumidos por las personas, estando solo por detrás de la carne.

“Los productos lácteos son productos derivados exclusivamente de la leche, teniendo en cuenta que se pueden añadir sustancias necesarias para su elaboración, siempre y cuando estas sustancias no se utilicen para sustituir, alguno de los componentes de la leche y los productos compuestos de leche, en los que la leche o un producto lácteo es la parte esencial, ya sea por su cantidad o por el efecto que caracteriza a dichos productos, en los que ningún elemento sustituye ni tiende a sustituir a ningún componente de la leche”<sup>3</sup>.

Los productos lácteos que se elabora en esta industria son: queso, yogurt, leche pasteurizada y homogenizada, que son comercializados en pequeñas y grandes cantidades en todo el país.



**Figura 1: Productos Elaborados en la Planta**

---

<sup>3</sup><http://www.prtr-es.es/data/images/la%20industria%20l%C3%A1ctea-3686e1a542dd936f.pdf>

La materia prima recolectada proviene de pequeños y medianos productores de leche de diversas partes de la parroquia. Además del procesamiento de la leche, parte de esta es vendida como materia prima a una importante industria láctea de la capital. Esta leche es destinada en proporciones diferentes para la elaboración de los productos lácteos como se indica en la siguiente tabla.

**Tabla 1-3: (%) de Leche destinada a Productos Lácteos**

<b>Producto Lácteo</b>	<b>Leche Cruda (L)</b>	<b>(%)</b>
<b>Leche Pasteurizada</b>	1200	24
<b>Queso</b>	800	16
<b>Yogurt</b>	1000	20
<b>Entrega a Industria Láctea La Holandesa</b>	2000	40
<b>TOTAL</b>	5000	100%

**Fuente:** Planta de Lácteos Lactogal.

### **1.2.2 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**

“Los principales aspectos medioambientales de la industria láctea tienen que ver con un elevado consumo de agua y energía, la generación de aguas residuales con alto contenido orgánico y la producción y gestión de residuos.”<sup>4</sup>

Cabe recalcar que la cantidad de agua consumida en los procesos y el volumen de agua residual producida pueden variar de una planta a otra en función del tamaño, equipos, mantenimiento programado, eficiencia de los empleados, etc.

---

<sup>4</sup>[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf)

### 1.2.3 CONSUMO DE AGUA

Las industrias dedicadas a la elaboración de productos lácteos, como gran parte de factorías pertenecientes al sector agroalimentario consumen elevados volúmenes de agua diariamente en sus procesos y en la limpieza de equipos e instalaciones para conservar condiciones adecuadas de higiene que es muy importante en la producción de alimentos.

Según la disposición de las instalaciones y la manera en que se utilice el agua, el consumo en el procesamiento de productos lácteos puede sobre pasar la cantidad de leche procesada. El agua que utiliza una planta láctea puede ser clasificada según el destino que se le dé, así tenemos (11):

- Agua industrial entre la que se encuentra la empleada en la limpieza y desinfección de los equipos e instalaciones.
- Agua de refrigeración.
- Agua de empuje.

“El consumo de este recurso está entre 1,3-3,2 L de agua/kg de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10 L de agua/kg de leche recibida. Sin embargo, es posible optimizar este consumo hasta valores de 0,8-1,0 L de agua/kg leche recibida utilizando equipamientos avanzados y un manejo adecuado.”<sup>5</sup>

El mayor consumo de agua se produce en las operaciones auxiliares, particularmente en la limpieza y desinfección, donde se consume entre el 25-40% del total.

---

<sup>5</sup> [http://coli.usal.es/web/demo\\_appcc/demo\\_ejercicio/lac\\_es.pdf](http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf)

**Tabla 1-4: Valoración Cualitativa del Consumo de Agua en la Industria Láctea**

<b>Proceso Productivo</b>	<b>Nivel de Consumo</b>	<b>Operaciones con mayor consumo de agua</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Leche</b>	Bajo	Tratamiento térmico Envasado	El volumen de vertido depende de si se realiza recirculación de las aguas del tratamiento térmico.
<b>Nata y Mantequilla</b>	Bajo	Pasterización de la nata Batido-Amasado	Lavado de la mazada antes del amasado
<b>Yogurt</b>	Bajo	Lavado de conducciones	Principalmente en Operaciones auxiliares
<b>Queso</b>	Medio	Salado	Salado mediante salmueras
<b>Operaciones Auxiliares</b>	Alto	Limpieza y desinfección Generación de vapor Refrigeración	Estas operaciones suponen el mayor consumo de agua

**Fuente:** CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA, Barcelona – España. 2002.

En las plantas de procesamiento y envasado de leche, los flujos de vertidos son muy variables durante las operaciones a lo largo de la jornada, produciéndose un máximo caudal al momento del lavado de equipos, recipientes, instalaciones en general.

El caudal de agua de desecho generada en un determinado tiempo, dependerá siempre de las actividades y operaciones que se estén efectuando en ese momento.

“Los caudales efluentes varían en un rango de 1 a 6 L de agua por litro de leche procesada, y tiende a disminuir con el desarrollo de las instalaciones automatizadas.”<sup>6</sup>

<sup>6</sup>[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf)



#### **1.2.4 CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA LÁCTEA**

Las plantas industriales que pertenecen al sector lácteo elaboran una variedad de productos, por lo que difieren entre sí tanto por la producción como por la operación de las mismas, por ende la contaminación generada no será la misma entre estas, la contaminación estará en función del tipo de industria a tratar (15).

##### **1.2.4.1 FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACIÓN**

En la industria lechera existen diferentes fuentes generadoras de contaminación e impacto ambiental. Entre estas se pueden citar flujos de materia prima perdida, embalajes, sustancias conservantes, químicos utilizados en actividades de limpieza, malos olores entre otros, siendo sin duda la más importante la gran cantidad de agua de desecho producida en mayor proporción por el lavado de equipos y utensilios empleados en el proceso.



**Figura 2: Fuentes de Contaminación en la Industria Láctea Lactogal**

**Fuente:** Mauricio Guaña.

Se debe considerar como otra fuente de contaminación el aporte por parte de los generadores de vapor, así como los gases de combustión que generalmente son SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles derivados del petróleo. Si estos aspectos contaminantes no son manejados adecuadamente pueden causar problemas ambientales muy serios.

**Tabla 1-5: Contaminantes de la Industria Láctea**

<b>Tipo de Contaminación</b>	<b>Contaminantes</b>
<b>Residuos Sólidos</b>	Baja contaminación, principalmente envases y embalajes
<b>Atmosférica</b>	Industrias que menos contaminan a la atmosfera con respecto a otras.
<b>Residuos Peligrosos</b>	Generación de residuos tóxicos y peligrosos muy baja
<b>Efluentes Líquidos</b>	Considerable cantidad de aguas residuales, que suele oscilar entre 4 y 10L de agua por cada L de leche tratada

**Fuente:** [www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf](http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf)

Siendo más específico, las fuentes de contaminación en la industria láctea pueden observarse claramente en los procesos de elaboración de los distintos productos derivados de la leche, mantenimiento e higiene en instalaciones y equipos, actividad que genera un volumen mayor de agua residual con respecto a las etapas del proceso como tal. Luego el resto de fuentes contaminantes es relativamente bajo.

### **1.3 AGUAS RESIDUALES**

Este tipo de vertidos son, “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.”<sup>7</sup>

Las aguas residuales provienen de actividades domésticas o de procesos industriales, las cuales por razones tanto de salud como por consideraciones de recreación e impacto visual, no pueden ser evacuadas directamente al sistema de alcantarillado público ni a cuerpos de agua dulce sin antes haber pasado por un sistema de tratamiento.

Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos, partículas de gran tamaño y otros residuos pueden ser eliminados mediante métodos mecánicos y químicos, mientras que el material de naturaleza orgánica contenido en el agua residual es eliminado con la utilización de microorganismos que oxidan la materia orgánica transformándola en CO<sub>2</sub>, he aquí la importancia de los microorganismos en los tratamientos de agua de desecho.

Existen sitios donde viven personas de muy bajos recursos económicos, como son las orillas de los ríos, donde a duras penas cuentan con un servicio eventual de agua potable, pero no disponen de un sistema de alcantarillado donde puedan desechar el agua residual generada por las actividades del hogar.

---

<sup>7</sup>TULAS. Libro VI. Anexo 1. Recurso Agua.

Estos vertidos que contienen sustancias fecales, detergentes, grasas, entre otros son descargados directamente a los ríos y otras fuentes de agua dulce, situación que origina una gama importante de enfermedades. Por lo que es necesaria la implementación de sistemas de depuración de las aguas residuales generadas tanto en el sector urbano cuanto en el industrial, para disminuir considerablemente la carga contaminante del agua.

### **1.3.1 AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA**

Como ya se ha dicho anteriormente el problema más importante de la industria láctea es el elevado consumo de agua que conlleva a la generación de una gran cantidad de agua residual, constituyendo un serio impacto medioambiental tanto por su volumen como por la carga contaminante que principalmente es de tipo orgánica.

La tecnología utilizada en los procesos de elaboración de los productos lácteos, los procedimientos para limpieza, desinfección y mantenimiento de equipos e instalaciones son factores que van a determinar la composición del agua de desecho.

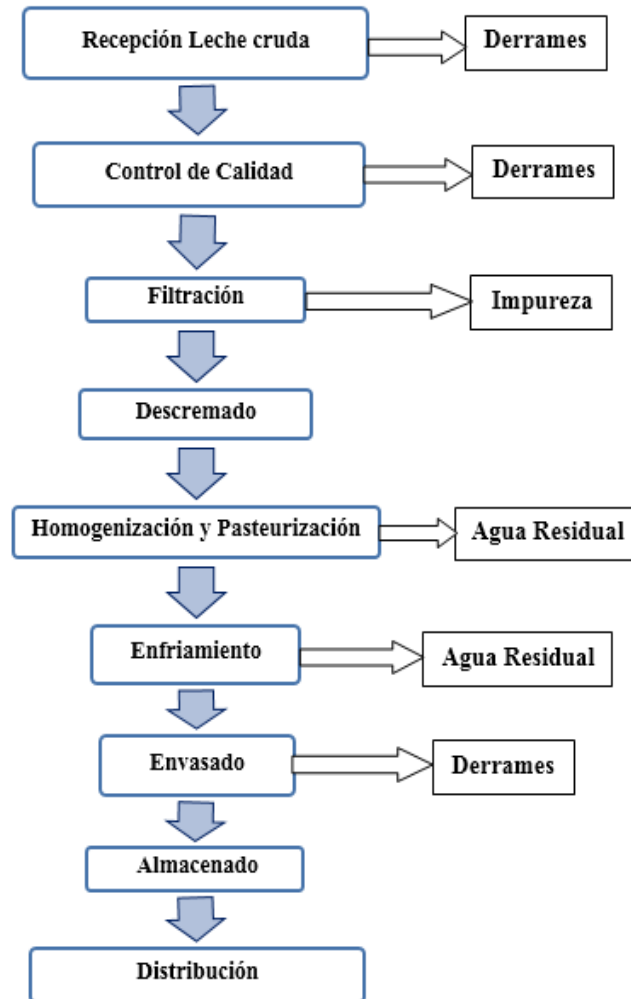
Por tanto las aguas residuales generadas en una empresa láctea se pueden clasificar en función de dos fuentes de generación:

- 1) Procesos y
- 2) Actividades paralelas a estos.

Como se indica en la tabla 1-6 donde se describe cada una de las fuentes de generación de efluentes contaminados dentro y fuera del proceso.

### 1.3.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS GENERADORAS DE RESIDUOS Y EFLUENTES DE CADA PROCESO

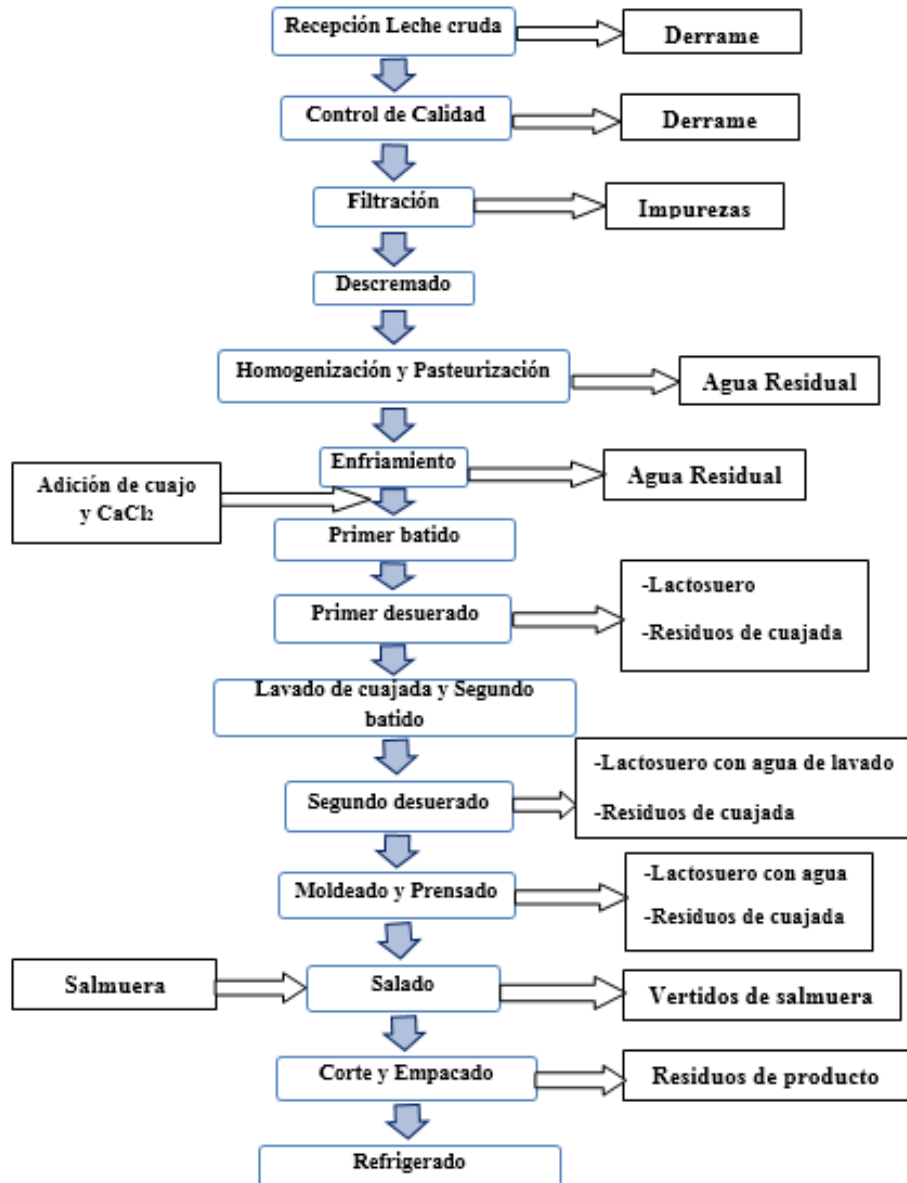
Figura 3. Esquema del proceso de elaboración de la leche pasteurizada



**Fuente:** Planta lácteos Lactogal.

**Elaborado por:** Mauricio Guaña.

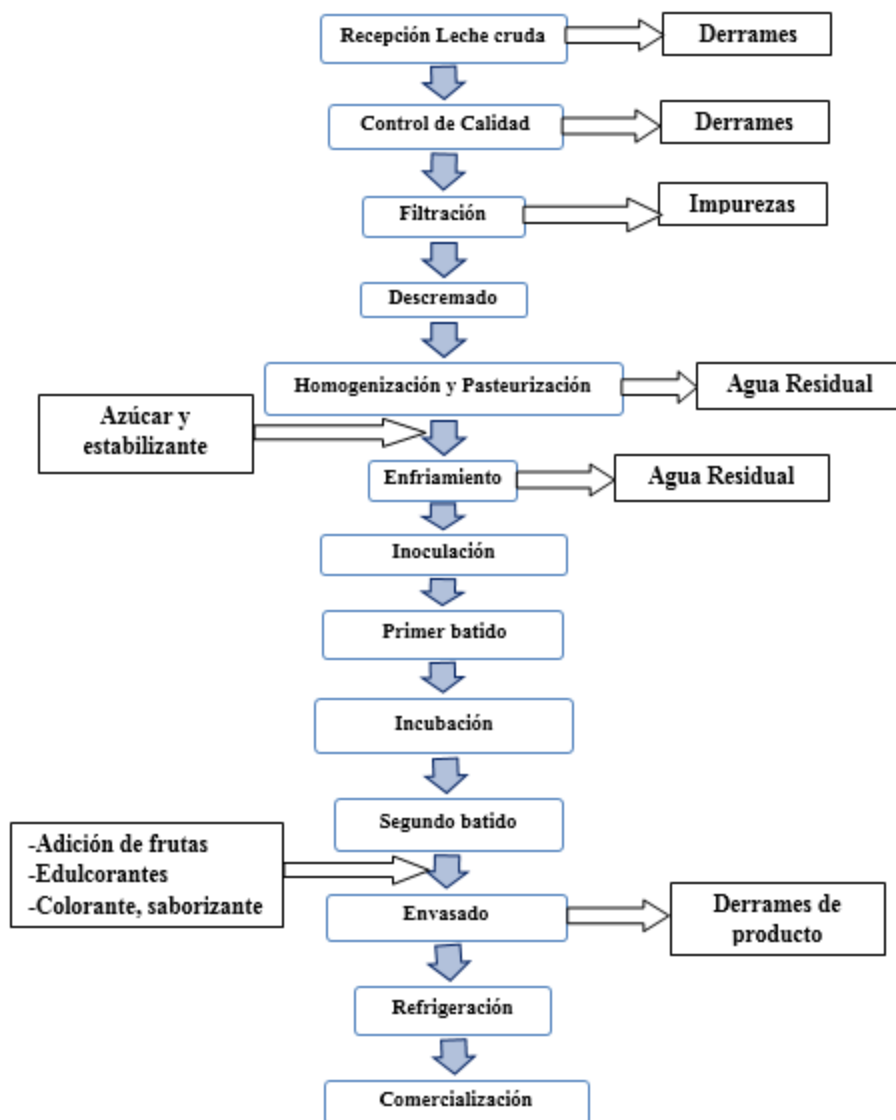
Figura 4. Esquema del proceso de elaboración del Queso fresco



**Fuente:** Planta lácteos Lactogal.

**Elaborado por:** Mauricio Guaña.

Figura 5. Esquema del proceso de elaboración del Yogurt



Fuente: Planta lácteos Lactogal.

Elaborado por: Mauricio Guaña.

**Tabla 1-6: Fuentes Principales de Vertidos**

<b>FUENTES</b>	<b>VERTIDOS</b>	<b>PROVENIENTE</b>
<b>Recepción</b>	Los vertimientos son generados debido a las operaciones de vaciado y llenado de recipientes y por la mala conexión de conductos que presentan fugas, la cantidad de vertimientos en esta etapa es de 4.95 litros de leche por tonelada de leche producida.	<b>Del Proceso</b>
<b>Homogenización</b>	Se generan vertimientos debido a fugas en los equipos, se tiene como dato aproximado 4.9 litros de leche por tonelada de leche.	<b>Del Proceso</b>
<b>Envasado</b>	En esta etapa la generación de vertidos es mayor principalmente por fallas y fugas en los equipos, además de un mal manejo por parte de los empleados. Un dato aproximado es de 4.88 litros de leche por tonelada de leche tratada.	<b>Del Proceso</b>
<b>Agua Residual Domestica</b>	La presencia de aguas residuales domesticas son producidas por el número de personas que trabajan en una área reducida, por lo tanto esta agua contiene un elevado DBO <sub>5</sub> y DQO debido a la gran cantidad de materia orgánica presente. Alrededor de 87.37 litros de agua son vertidos cuando se elabora una tonelada de leche, en términos de toneladas, son necesarias 0.0073 toneladas de agua por tonelada	<b>Procesos Paralelos</b>
<b>Agua de Lavado de Equipos e Instalaciones</b>	Esta actividad genera una cantidad considerable de agua residual, teniendo características de una leche muy diluida y arrastrando ciertas sustancias sólidas, dichas sustancias hacen que los niveles de DBO <sub>5</sub> y DQO sean altos.	<b>Procesos Paralelos</b>
<b>Agua de Enfriamiento</b>	El agua utilizada para el enfriamiento y las fugas en el sistema también se considera una fuente de contaminación, debido al choque térmico que esta sufre en los intercambiadores utilizados en el proceso, por lo tanto debe ser tratada antes de devolverla a un cuerpo de agua o al alcantarillado. Alrededor del 10% del agua necesaria en la etapa de enfriamiento, debe ser recirculada. Para la producción de una tonelada de leche tratada, la cantidad de agua vertida por enfriamiento es de 1569 litros; es decir 0.03808 tonelada de agua por tonelada de leche tratada.	<b>Por Enfriamiento</b>

**Fuente:** [www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf](http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf)



### **1.3.1.2 COMPOSICIÓN**

Las aguas residuales de las industrias lecheras están constituidas principalmente por:

- Leche cruda diluida, leche que ha sido tratada, mantequilla y sueros procedentes de derrames, fugas o goteos provocados por un diseño inadecuado o el mal funcionamiento del proceso.
- Restos de lavados que contienen productos químicos como sosa caustica, desinfectantes, aditivos, detergentes, ácido nítrico, etc. Cada tonelada de leche elaborada requiere entre 1-4 kg de agentes de limpieza.

El agua de desecho de esta industria se caracteriza por un alto contenido en grasas, lactosa y proteínas. Además pueden estar presentes microorganismos como las bacterias termófilas y termoduraderas que han sobrevivido y quedado sobre los equipos utilizados durante el proceso. El origen principal de la contaminación es debido a las pérdidas de producto en las diferentes etapas del proceso. El procedimiento de limpieza y desinfección de maquinaria e instalación que se lleva a cabo en una planta de lácteos, generalmente es la siguiente:

- Enjuague mediante circulación de agua fría.
- Inyección de una disolución de detergente por 25-30 minutos (generalmente sosa caustica al 1-3%) hirviendo (para lavar vidrio).
- Nuevamente enjuague.
- Inyección durante 15 minutos de una solución de ácido nítrico o fosfórico en condiciones de 5 g/L a 60-70°C (para lavar acero inoxidable).
- Finalmente se realiza un enjuague por circulación de agua.

Las aguas residuales presentan un pH generalmente básico, debido a las sustancias limpiantes empleadas, pero tienden a acidificarse por el proceso de fermentación que sufre la lactosa convirtiéndose en ácido láctico. Este proceso tiene lugar cuando los flujos de agua se encuentran libres de oxígeno, el valor de pH al que se llega puede hacer que la caseína se precipite, produciendo olores típicos del ácido butílico.

Las aguas de desecho de las industrias lácteas se caracteriza por:

- Alto contenido en materia orgánica disuelta, que disminuye con la recuperación de subproductos.
- Buena biodegradabilidad: relación DBO<sub>5</sub>/DQO.
- No presentan toxicidad.
- Proporciones elevadas de sólidos volátiles en suspensión. El ratio sólidos en suspensión volátiles/sólidos en suspensión totales alcanza en las industrias lecheras el 90%.
- Valores de nitrógeno total similares a las aguas residuales urbanas, pero aumenta la proporción entre nitrógeno orgánico, que supone más del 50% y amoniacal, más del 20%. Esta característica varía si se emplea ácido nítrico como limpiador (11).

#### **1.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

“La prevención de la polución del agua y del suelo solo es posible si se definen técnicas apropiadas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. Sin embargo ningún programa de control tendrá éxito si no se cuenta con los recursos financieros para su implantación, operación y mantenimiento permanente”<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> ROMERO. J, Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño, 3<sup>ra</sup> ed. Bogotá-Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

El tratamiento de las aguas de desecho más conocidas como aguas residuales se fundamenta en una cadena de procesos de diferente tipo como los físicos, químicos y biológicos, cuyo fin es el de eliminar o disminuir al máximo las sustancias contaminantes presentes en el agua a tratar, con el objeto de proteger la salud y promover el bienestar de todos quienes formamos parte de la sociedad. Otro de los fines de la depuración de las aguas es obtener un flujo de agua reutilizable en diversos fines y con características que permitan descargar directamente a la alcantarilla o bien devolverlo a un cuerpo hídrico.

#### 1.4.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La teoría fundamental para un adecuado control de la contaminación por aguas residuales ha sido tratar estas aguas en plantas de tratamiento que permitan remover en gran parte y la mayoría de los contaminantes y luego dejar que sea la naturaleza quien lo complete en el cuerpo receptor.



**Figura 6: Depuradora de Aguas Residuales**

Fuente: Contenidos.educarex.es

El nivel de tratamiento que requiera un agua de desecho está en función de la capacidad que tenga el cuerpo receptor para auto purificarse de forma natural, y esta a su vez es función del caudal del cuerpo receptor, de la cantidad de oxígeno presente, y de la rapidez y habilidad para volver a oxigenarse.

## **1.4.2 NIVELES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Los niveles de tratamiento empleados dependen del grado de contaminación y de las características de los contaminantes que presente el agua residual. Las etapas son tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado.

### **1.4.2.1 TRATAMIENTO PRIMARIO**

#### **1.4.2.1.1 Desbaste**

En esta etapa se consigue retener la mayor cantidad de sólidos gruesos, no solo con el fin de reducir la carga contaminante del agua residual a la entrada del sistema, sino también con el propósito de preservar la integridad y el funcionamiento de los equipos posteriores por donde va a pasar el flujo de agua. Pueden emplearse varios tipos de equipos como rejillas, tamices autolimpiantes, microfiltros (6).

#### **1.4.2.1.2 Remoción de Arena**

En esta etapa se da la eliminación de arenas mediante el empleo de desarenadores o por centrifugación de lodos. Este proceso ayuda a la separación de la arena propiamente dicha y a otros materiales cuya velocidad de sedimentación sea mayor al material sólido degradable contenido en el agua de desecho. El material retenido previene los daños que pueden tener los equipos utilizados en el sistema de tratamiento posterior (4).

#### **1.4.2.1.3 Sedimentación**

“La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas”<sup>9</sup>.

Este proceso se lleva a cabo en tanques de clarificación primaria donde la materia suspendida más densa que el agua se deposita en el fondo del tanque debido a la diferencia de peso y por acción de la gravedad, permitiendo que el material flotante se ubique en la superficie y pueda ser retirado.

#### **1.4.2.1.4 Flotación**

Este proceso ayuda a separar tanto material sólido de densidad baja cuanto partículas líquidas de una fase líquida, en este caso del agua. La separación de este material se realiza haciendo pasar aire a través del agua residual en forma de burbujas, logrando que los sólidos y las partículas líquidas asciendan a la superficie para luego ser retirados.

El agua clarificada puede ser separada por la parte inferior cercana al fondo del tanque de flotación (5).

#### **1.4.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

El tratamiento secundario de las aguas residuales consiste en una serie de procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios. La eliminación de la carga contaminante se da mediante el empleo de microorganismos que destruyen y metabolizan las materias orgánicas biodegradable solubles y coloidales, transformándola en dióxido de

---

<sup>9</sup>RAMALHO. R. Tratamiento de aguas residuales, Quebec – Canadá, editorial Reverte S.A

carbono y gas metano, reduciendo de esta manera la cantidad de la DBO y la DQO a valores inferiores a 100 mg/l (6).

La eliminación de la carga contaminante mediante el tratamiento biológico se consigue, debido a que la materia orgánica presente en el agua residual muchas de las veces es rica en nutrientes conteniendo especialmente compuesto de N y P, y además constituye la fuente de energía y de carbono que requieren los microorganismos para su crecimiento.

Cabe indicar que los procesos biológicos aerobios se basan en la transformación de los contaminantes orgánicos en biomasa bacteriana, dióxido de carbono y agua, mientras que los procesos anaerobios los convierte en gas metano y dióxido de carbono.

#### **1.4.2.2.1 Lechos Bacterianos**

Lechos Bacterianos, también denominados filtros biológicos o filtros percoladores. Están basados en los procesos biológicos aerobios.

Consiste en poner el agua residual en contacto con un material inerte o soporte donde se adhieren los microorganismos. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie sobre el que se rocía el agua a tratar.

Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente.

#### **1.4.2.2.2 Fangos Activos**

Es un proceso aerobio, que consiste en poner en contacto íntimo al agua residual, la biomasa y el oxígeno disuelto dentro de un reactor con agitación permanente para lograr que la biomasa se encuentre en suspensión y entre en contacto con el oxígeno disuelto, esto ayuda a acelerar los procesos obteniendo un agua de mayor calidad y disminuyendo la cantidad de lodos generados en el proceso. Luego de que se ha dejado reaccionar por un determinado tiempo en el reactor, los lodos formados se llevan a un sedimentador o decantador secundario donde se logra separar el agua ya clarificada (6).

#### **1.4.2.2.3 Reactor Biológico de Membrana MBR**

Consiste en un sistema provisto de una membrana semipermeable en conjunto con un proceso de fangos, que garantiza la separación de materiales contaminantes que se encuentran en suspensión y la remoción de algunos disueltos. La limitación que presenta este tipo de sistema es directamente proporcional a la reducción de nutrientes del proceso de fangos activos. Además que los costos tanto de construcción como de operación de MBR son más elevados con respecto a un tratamiento de aguas residuales convencionales de esta clase de filtros (10).

#### **1.4.2.2.4 Sedimentación Secundaria**

La etapa final del tratamiento secundario se lleva a cabo en tanques de sedimentación secundaria y consiste en retirar los floculos biológicos retenidos en el filtro y obtener agua clarificada con bajo contenido de materia orgánica y suspendida.

### **1.4.2.3 TRATAMIENTO Terciario**

El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar contaminantes más específicos, como las sustancias tóxicas o compuestos que no son biodegradables, que no han sido eliminados o removidos en el tratamiento anterior. Con esta etapa se asegura un efluente de mayor calidad con características que permiten devolver al medio ambiente.

#### **1.4.2.3.1 Filtración**

En la filtración se puede utilizar arena, grava o una combinación de estos dos materiales como medio filtrante que facilitan la remoción de materia suspendida que aún está presente en el agua. La adsorción con carbón activo se utiliza para remover toxinas y eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico.

#### **1.4.2.3.2 Lagunaje**

El tratamiento en lagunas se trata de una imitación de autodepuración natural que tiene lugar en ríos, lagos y otros cuerpos hídricos. La agitación en esta etapa también es importante para mantener los lodos en suspensión.

Este proceso “se puede realizar en grandes lagunas aireadas, con largos tiempos de retención de 1 a 3 días, que les hace prácticamente insensible a las variaciones de carga, pero requieren terrenos muy extensos.”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup>RIGOLA PEÑA, Miguel. Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Procesos y Residuales. Edición original publicada por MARCOMBO S.A, Barcelona España, 2005



#### **1.4.2.3.3 Tierras Húmedas Construidas**

Las tierras húmedas construidas incluyen camas de caña y un rango de metodologías similares que proporcionan un alto grado de mejora biológica aerobia y pueden ser utilizados a menudo en lugar del tratamiento secundario para las comunidades pequeñas, también para la Fito remediación.

#### **1.4.2.3.4 Desinfección**

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales.

### **1.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

#### **1.5.1 CAUDAL**

El caudal es un parámetro importante para el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas, ya que en función de este y de otras variables será posible el dimensionamiento de los diferentes equipos que estén formando parte de una planta depuradora de agua residual. Se conoce como caudal a la cantidad de fluido que pasa por un área en la unidad de tiempo. La medición de caudales se encuentra incluida en las operaciones físicas unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.

Para determinar el caudal podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = V/t$$

**Ec. 1.5.1-1**

Dónde:

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

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$t = \text{Tiempo (s)}$$

## 1.5.2 DISEÑO DEL CANAL

Es necesario realizar el dimensionamiento de un canal, ya que este ayudara más adelante para el diseño de las rejillas que serán dispuestas en el mismo.

### 1.5.2.1 ÁREA TRANSVERSAL DEL CANAL

La ecuación que permite obtener el área del canal es la siguiente:

$$A_{tc} = b \times h_c \quad \text{Ec. 1.5.2.1-1}$$

Donde:

$$A_{tc} = \text{Area transversal del canal (m}^2\text{)}$$

$$b = \text{Base del canal (m)}$$

$$h_c = \text{Altural del canal (m)}$$

### 1.5.2.2 RADIO HIDRÁULICO

Luego para el cálculo del radio hidráulico empleamos la ecuación expresada a continuación:

$$R_{HC} = \frac{b \times h_c}{b + 2h_c} \quad \text{Ec. 1.5.2.2-1}$$

Donde:

$R_{HC}$  = Radio hidraulico del canal (m)

$b$  = Base del canal (m)

$h_c$  = Altural del canal (m)

### 1.5.3 REJILLAS

“Una rejilla es un elemento con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual”<sup>11</sup>. Habitualmente son utilizadas al inicio de un sistema de tratamiento de agua residual, reteniendo sólidos en suspensión y flotantes de mayor tamaño que sus aberturas.

Las rejas presentan aberturas entre barras de 15 mm o más, reteniendo por ejemplo trozos de madera y cerámica, trapos, que posteriormente son retirados para ser tratados o bien dispuestos de la mejor manera. Una función importante de las rejillas es la de proteger accesorios y equipos del sistema de tratamiento de posibles daños generados por la presencia de material de gran tamaño como los mencionados anteriormente, además las rejillas pueden ser limpiadas de forma mecánica o manual (3) y (4).

#### 1.5.3.1 VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN A LA REJILLA

Para el diseño de rejillas también es importante conocer la velocidad de aproximación.

$$V_{ap} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \qquad \text{Ec.1.5.3.1-1}$$

---

<sup>11</sup>METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen I, 3<sup>er</sup> edición, Editorial Mc Graw-Hill, España 1995, Pp. 228

Donde:

$$V_{ap} = \text{Velocidad de aproximación (m/s)}$$

$$n = \text{Coeficiente de maning (0,013 para hormigon)}$$

$$R_{HC} = \text{Radio hidraulico del canal (m)}$$

$$S = \text{Gradiente hidraulico (m/m)}$$

### 1.5.3.2 CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO

Los factores que se debe tomar en consideración para la implementación de rejillas en un sistema de tratamiento, tanto de tipo mecánico como manual se indica en la tabla siguiente.

**Tabla 1-7: Información típica para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual y mecánica**

Características	Unidades	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica
<b>Tamaño de la Barra:</b>			
Anchura	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras	mm	25-50	15-75
Pendiente con la vertical	grados	25-50	50-82,5
Velocidad de aproximación	m/s	0,45	0,60
Perdida de carga admisible	mm	150	150
<b>Criterios</b>		Mayormente empleada en plantas de tratamiento de pequeño tamaño. La longitud no debe exceder de 3m, las barras que conforman la reja no debe ser mayor a 10mm de ancho por 50mm de profundidad	Se dividen en 4 tipologías: a) Rejas mediante cadenas. b) De movimiento oscilatorio. c) Cantenarias. d) Rejas accionadas mediante cables.

**Fuente:** METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Vol. II

### 1.5.3.3 ÁREA ENTRE BARRAS DE LA REJILLA

Para encontrar el área entre barra y barra en una reja, espacio por el cual pasara el flujo de agua residual, se utiliza la siguiente expresión.

$$A_p = \frac{Q}{V_{ap}} \quad \text{Ec. 1.5.3.3-1}$$

Dónde:

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

$$V_{ap} = \text{Velocidad de aproximación (m/s)}$$

$$A_p = \text{Area de paso entre barras(m}^2\text{)}$$

### 1.5.3.4 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD SUMERGIDA DE LA REJILLA EN EL AGUA RESIDUAL

Para la determinación de la longitud de la rejilla que va a estar sumergida en el agua a tratar se empleara la ecuación expresada de la siguiente manera.

$$L_{sg} = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\varphi} \quad \text{Ec. 1.5.3.4-1}$$

Dónde:

$$L_{sg} = \text{Longtud de rejilla sumergida (m)}$$

$$n_{m\acute{a}x} = \text{Nivel máximo (m)}$$

$$\varphi = \text{ángulo de inclinación de la rejilla (grados)}$$

Pero antes se debe encontrar el nivel máximo del agua mediante la ecuación que sigue.

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{Q}{V_{ap} \times B} \quad \text{Ec. 1.5.3.4-2}$$

Dónde:

$n_{m\acute{a}x}$  = Nivel máximo (m)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$B$  = Ancho de la rejilla (m)

$V_{ap}$  = Velocidad de aproximación ( $m/s$ )

### 1.5.3.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE BARRAS EN LA REJILLA

Para determinar el número de barras que forman la rejilla se emplea la siguiente expresión:

$$N_b^{\circ} = \frac{B-W}{W-e} \quad \text{Ec. 1.5.3.5-1}$$

Dónde:

$N_b^{\circ}$  = Número de barras

$W$  = Separación entre barras (m)

$B$  = Ancho de la rejilla (m)

$e$  = Espesor máximo de las barras(m)

### 1.5.3.6 PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LA REJA

Las pérdidas de carga que se generan al paso del agua a través de las rejillas dependen tanto de la velocidad con la que se aproxima el flujo de agua a la reja como también de la velocidad de circulación a través de los barrotes. La estimación de la pérdida de carga producida se la hace empleando la expresión propuesta en Metcalf-Eddy.

$$h_l = \frac{1}{0.7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. 1.5.3.6-1}$$

Dónde:

$h_l =$  *Perdida de carga (m)*

0.7 = *Coefficiente empírico que incluye los efectos de la turbulencia*

$V =$  *Velocidad de circulación entre las barras de la reja (m/s)*

$v =$  *Velocidad de aproximación a la reja (m/s)*

$g =$  *Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)*

Si es necesaria la implementación de tamices de malla fina, la pérdida de carga se puede estimar a partir de la fórmula de orificio.

$$h_l = \frac{1}{c(2g)} \left( \frac{Q}{A} \right)^2 \quad \text{Ec. 1.5.3.6-2}$$

Dónde:

$h_l =$  *Perdida de carga (m).*

$C =$  *Coefficiente adimensional de descarga del tamiz.*

$Q =$  *Caudal que a traviesa el tamiz (m<sup>3</sup>/s)*

$A =$  *Superficie efectiva sumergida del tamiz (m<sup>2</sup>)*

$g =$  *Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)*

#### **1.5.4 HOMOGENEIZACIÓN DE CAUDALES**

Debido a que el caudal y las características del agua residual generados en la industria láctea son muy variables, es necesario incluir en el sistema de tratamiento un tanque Homogenizador, con el objeto de mejorar la efectividad de las etapas de tratamiento

posteriores. Esta operación consiste en amortiguar las variaciones de caudal, con el fin de tener como resultado un caudal constante o que se acerque a este comportamiento (4).

#### 1.5.4.1 ÁREA DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR

$$A_H = \frac{Q \times t}{h_H} \quad \text{Ec. 1.5.4.1-1}$$

Dónde:

$A_H$  = Área del tanque homogeinizador ( $m^2$ ).

$Q$  = Caudal de agua residual ( $m^3/s$ )

$t$  = Tiempo de descarga ( $h$ )

$h_H$  = Altura de Tanque homogeinizador ( $m$ )

#### 1.5.4.2 VOLUMEN DEL HOMOGEINIZADOR

$$V_H = \pi r^2 h_H \quad \text{Ec. 1.5.4.2-1}$$

Dónde:

$V_H$  = Volumen del tanque hogeinizador ( $m^3$ ).

$r$  = Radio del tanque ( $m$ ).

$h_H$  = Altura del tanque ( $m$ )



### 1.5.5 MEZCLADO

El mezclado es una operación unitaria empleada en diferentes etapas del tratamiento del agua de desecho con el propósito de lograr: una mezcla completa entre dos sustancias, transferir calor de un lugar a otro dentro de un reactor, tiene gran importancia en la floculación, además ayuda a mantener uniforme el contenido del tanque Homogenizador.

Para obtener una mezcla homogénea es importante medir la cantidad de potencia que debe proveer la unidad de mezclado.

#### 1.5.5.1 ENERGÍA DISIPADA EN EL MEZCLADO

Mientras mayor sea la energía transferida desde una fuente hacia el mezclador se generará mayor turbulencia en un fluido, consiguiéndose de esta manera una mezcla completa y homogénea en todos los puntos del tanque o reactor.

Para la determinación de los gradientes de velocidad o de potencia si se quiere se emplea la siguiente expresión:

$$P = G^2 \times \mu \times V \qquad \text{Ec. 1.5.5.1-1}$$

Dónde:

$G$  = *gradiente de velocidad medio, (1/s).*

$P$  = *potencia necesaria, (W).*

$\mu$  = *viscosidad dinámica, (N.s/m<sup>2</sup>)*

$V$  = *volumen del floculador, (m<sup>3</sup>)*

**Tabla 1-8: Gradiente de Velocidad (G) y tiempo de detención típico de los procesos de tratamiento de aguas residuales**

Intervalo de Valores			
Proceso		Tiempo de Detención	Valor de G, s <sup>-1</sup>
<b>Mezclado</b>	Operaciones de mezcla rápida típicas	5-20 s	250-1500
	Mezcla rápida en procesos de filtración de contacto	< 1-5 s	1500-7500
<b>Floculación</b>	Procesos de floculación típicamente empleados en el tratamiento del agua residual	10-30 min	20-80
	Floculación en procesos de filtración directa	2-10 min	20-100
	Floculación en procesos de filtración de contacto	2-5 min	30-150

**Fuente:** METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen I, 3er edición, Editorial Mc Graw-Hill, España 1995, Pp. 245

### 1.5.5.2 GRADIENTE DE VELOCIDAD DE UN FLUIDO

La gradiente de velocidad se lo puede hallar con la siguiente ecuación:

$$G = 0,25 \times n^{1,25} \qquad \text{Ec. 1.5.5.2-1}$$

Dónde:

$G$  = gradiente de velocidad medio, (1/s).

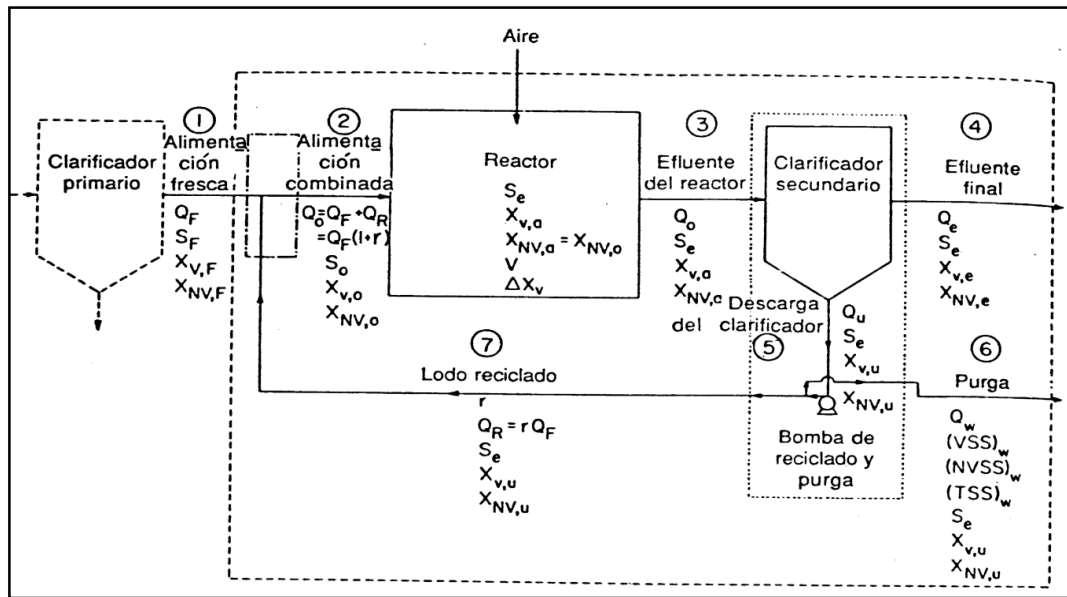
$n$  = velocidad de rotacion (rpm).

### 1.5.6 LODOS ACTIVADOS

Los lodos o fangos activos, es un bioproceso utilizado para el tratamiento natural de las aguas residuales. Este proceso biológico consiste principalmente de dos partes:

La primera corresponde a un tratamiento de tipo aerobio, en donde el agua residual se pone en contacto con un cultivo de microorganismos aeróbicos, cuya función es la de oxidar la materia orgánica contenida en el efluente a tratar.

En una segunda parte tienen lugar una serie de procesos de biodegradación de la materia orgánica y biosíntesis, resultando de esta un efluente clarificado con un bajo contenido de DBO, turbidez y sólidos suspendidos que son parámetros que se deben considerar al momento de realizar la depuración del agua de desecho.



Fuente: RAMALHO, R., Tratamiento de Aguas Residuales., 1983., Pp. 254

Figura 7. Proceso Convencional de Lodos Activos

En la figura se muestra el diagrama de flujo convencional de este bioproceso, donde el agua a tratar sale de un proceso de sedimentación primaria e ingresa a un reactor dispuesto de un sistema de aireación, entrando en contacto con microorganismos que oxidan y degradan la materia orgánica, este efluente pasa a un tanque de sedimentación secundaria, en el cual se separa por la parte superior el agua clarificada del lodo formado, este fango se recircula por la parte inferior del Sedimentador hacia el reactor aireado con la finalidad de mantener la concentración adecuado de lodos y garantizar la efectividad del proceso.

#### **1.5.6.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

La base en el diseño de un sistema de lodos activados está en el consumo de la  $DBO_5$  soluble que tiene lugar en el reactor debido a un proceso de degradación biológica de la materia orgánica y la separación de la  $DBO_5$  insoluble por sedimentación en los clarificadores. Un proceso convencional de lodos activos puede llegar a reducir del 5 al 15% de la  $DBO_5$  que contiene el agua inicialmente, esto quiere decir que esta operación tiene un rendimiento del 85 al 95%.

Para diseñar una planta de lodos activados se debe considerara ciertos aspectos como son: tipo de reactor, transferencia de oxígeno, nutrientes, producción de lodo, y las características del efluente a tratar.

##### **1.5.6.1.1 REACTOR**

Cuando el agua presenta elevada contaminación es recomendable utilizar un reactor de mezcla completa, principalmente por la transferencia de oxígeno que será más uniforme en

todos los puntos del reactor que si se empleara uno de flujo en pistón. Para determinar el volumen del reactor se utiliza la siguiente ecuación.

$$V = \frac{\theta_{rc} \times Q \times Y \times (S_0 - S)}{X(1 + K_d \theta_{rc})} \quad \text{Ec. 1.5.6.1.1-1}$$

Dónde:

$\theta_{rc}$  = tiempo medio de retencion celular hidraulica, (h)

$Q$  = Caudal de AR a tratar, ( $m^3/d$ ).

$S_0$  = Concentracion de DBO en el afluyente ( $Kg/m^3$ ).

$S$  = Concentracion de DBO en el efluente ( $Kg/m^3$ ).

$K_d$  = Coeficiente de degradacion endogena ( $d^{-1}$ ).

$X$  = Concentracion de solidos suspendidos volatiles en el tanque de aireacion ( $Kg/m^3$ ).

### 1.5.6.1.2 EFICIENCIA

Para obtener la eficiencia del proceso nos tenemos que basar en la DBO<sub>5</sub> soluble que posee tanto el efluente cuanto el afluyente, utilizando la expresión siguiente:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100 \quad \text{Ec. 1.5.6.1.2-1}$$

Donde:

$E$  = Eficiencia

$S_0$  = Concentracion de DBO en el afluyente ( $Kg/m^3$ ).

$S$  = Concentracion de DBO en el efluente ( $Kg/m^3$ ).

### 1.5.6.1.3 CRITERIOS DE CARGA

En este punto se puede determinar la relación que debe existir entre el alimento y los microorganismos para garantizar la efectividad del proceso. Para esto la relación alimento/microorganismos viene dada por:

$$F/M = \frac{(S_0)}{T_{RH}X} \quad \text{Ec. 1.5.6.1.3-1}$$

Donde:

$F/M$  = Relación alimento/microorganismos ( $d^{-1}$ )

$S_0$  = Concentración de DBO o DQO en el afluente ( $Kg/m^3$ ).

$X$  = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación ( $Kg/m^3$ ).

$T_{RH}$  = Tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación ( $d$ )

Si  $F/M < 0.05$  nos indica que los lodos generados están en exceso por lo que deben ser purgados y,

Si  $F/M > 0.15$  entonces es necesario aumentar la concentración de los SST en el tanque aireado, esto se logra con la recirculación del lodo.

### 1.5.6.1.4 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN EL TANQUE DE AIREACIÓN

Pero para encontrar la relación alimento/microorganismos necesitamos conocer el tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación, para lo cual empleamos la ecuación:

$$T_{RH} = \frac{V_a}{Q} \quad \text{Ec. 1.5.6.1.4-1}$$

Donde:

$T_{RH}$  = Tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación (d)

$V_a$  = Volumen del tanque de aireación ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal de entrada al tanque de aireación ( $m^3/d$ ).

### 1.5.6.1.5 PRODUCCIÓN DE LODO

La cantidad de lodo que será necesario purgar cuando la producción sea excesiva se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_X = Y_{obs}Q(S_o - S)(10^3 \text{ g/Kg})^{-1} \quad \text{Ec. 1.5.6.1.5-1}$$

Donde:

$P_X$  = Producción diaria neta de lodo activado medido en términos de SS volátiles ( $Kg/d$ )

$Y_{obs}$  = Producción observada ( $Kg/Kg$ ).

$S, S_o, Q$  = Según se definió anteriormente.

Ahora la producción observada se logra obtener de la siguiente expresión:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \theta_c} \quad \text{Ec. 1.5.6.1.5-2}$$

Donde:

$Y$  = Coeficiente de producción celular ( $Kg_{\text{celulas producidas}}/Kg_{\text{materia organica eliminada}}$ )

$K_d$  = Coeficiente de degradación endógena ( $d^{-1}$ ).

**Tabla 1-9: Coeficientes cinéticos para el proceso de Lodos Activados**

<b>Coeficientes</b>	<b>Unidades para SSV</b>	<b>Rangos</b>	<b>Típico</b>
<b>Y</b>	Mg SSV/mg DBO <sub>5</sub>	0,4-0,8	0,6
<b>Kd</b>	d <sup>-1</sup>	0,0025-0,0075	0,06
<b>K</b>	mg/ L DBO <sub>5</sub>	25-100	60

**Fuente:** METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., Pp. 408

### 1.5.6.1.6 REQUERIMIENTO DE OXIGENO

$$WO_2 = [a(S_0 - S)Q + b * X * V] \quad \text{Ec. 1.5.6.1.6-1}$$

Donde:

$WO_2 =$  Requerimiento de oxígeno, (KgO<sub>2</sub>/d)

$a =$  Fracción del sustrato removido utilizado para la producción de energía

(0.3 y 0.63 KgO<sub>2</sub>/KgDBO).

$b =$  Oxígeno necesario para la respiración endógena (0.55 y 0.28 KgO<sub>2</sub>/KgSSV \* d)

“El suministro de aire debe proporcionar un mezclado adecuado y mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aireación comprendido entre 1 y 2”<sup>12</sup>

**Tabla 1-10: Parámetros de diseño para procesos de Lodos Activados**

<b>Modificación del proceso</b>	<b><math>\theta_c</math></b>	<b><math>F/M</math></b>	<b>Carga volúmica</b>	<b>SSLM</b>	<b><math>V/Q</math></b>	<b><math>Q_r/Q</math></b>
	(d)	(Kg DBO <sub>5</sub> aplicada / Kg SSVLM × d)	(Kg DBO <sub>5</sub> aplicada /m <sup>3</sup> x d)	mg/L	(h)	
Convencional	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5-15	0,2-0,6	0,80-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1,0

**Fuente:** METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 626

<sup>12</sup> METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales, 1995, Pp. 611



### 1.5.6.2 AIREACIÓN A TRAVÉS DE DIFUSORES

Este tipo de aireación presenta dos fases, una continua que en este caso sería el agua y una fase discontinua gaseosa. Existe una amplia gama de difusores entre ellos tenemos de disco, domo, tubo y de placa. Un sistema de difusores bien distribuido en el tanque promueve una buena mezcla y es idóneo en el tratamiento de aguas residuales como en lodos activos ya que no destruye el floc biológico, permitiendo que este mantenga su peso y sea fácil de sedimentar. Además los difusores pueden ser empleados en la etapa de homogenización, para realizar una pre-aireación, evitando malos olores.

#### 1.5.6.2.1 Transferencia de Oxígeno a través del difusor

La determinación de la tasa de transferencia total de oxígeno se consigue mediante la expresión descrita a continuación.

$$N = N_0 * \left[ \alpha \left( \frac{\beta * C'_{sw} - C_L}{C_{ST}} \right) * (1.024^{(T-20)}) \right] \quad \text{Ec. 1.5.6.2.1-1}$$

Donde:

$N$  = tasa de transferencia total de oxígeno (KgO<sub>2</sub>/KW\*h)

$N_0$  = tasa transferencia de oxígeno en condiciones de referencia (20 °C y oxígeno disuelto igual a cero, 1.5 y 2.0 KgO<sub>2</sub>/KW\*h)

$\alpha$  = factor de correlación para la transferencia de oxígeno para la purga (0.4 y 0.8)

$\beta$  = 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 1976es 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 (°C)

#### 1.5.6.2.2 Correlación de $C_{sw}$

$$C'_{SW} = C_{SW} * \frac{P - P_V}{760 - P_V} \quad \text{Ec. 1.5.6.2.2-1}$$

Donde:

$P$  = presión atmosférica (mmHg)

$P_V$  = presión de vapor de agua saturada (mmHg)

#### 1.5.6.2.3 Cantidad de aire requerido

$$A_{Req} = \frac{Q * DBO}{\%O_2 \text{ en el aire} * E * \rho_{aire}} \quad \text{Ec. 1.5.6.2.3-1}$$

Donde:

$A_{Req}$  = Aire requerido, (Kg/d)

$E$  = Eficiencia de difusión

$\rho_{aire}$  = Densidad del aire

#### 1.5.6.2.4 Potencia Requerida

$$P_W = \frac{W_{O_2}}{24 * N} * 10^{-3} \quad \text{Ec. 1.5.6.2.4-1}$$

Donde:

$P_W$  = Potencia total requerida

$W_{O_2}$  = Requerimiento de oxígeno

$N$  = tasa de transferencia total de oxígeno (Kg $O_2$ /KW \* h)

## 1.5.7 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es una etapa del tratamiento en la cual se logra la remoción de sólidos en suspensión presentes en el agua residual por acción de la gravedad, debido a la diferencia de peso entre las partículas suspendidas y el agua depositándose así en el fondo del tanque.

### 1.5.7.1 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

La sedimentación primaria se emplea mayormente como una operación previa al tratamiento biológico, cuyo objetivo es originar un agua homogénea y lista para ser tratada biológicamente.

“Los tanques de sedimentación primaria bien dimensionados y explotados con eficiencia eliminan entre el 50 y el 70 por 100 de los sólidos suspendidos y entre el 25 y el 40 por 100 De la DBO<sub>5</sub>”<sup>13</sup>

**Tabla 1-11: Estándares de diseño para sedimentadores primarios según algunas referencias**

Referencia	Carga superficial (m/d)	Tiempo de retención	Profundidad (m)	Carga sobre el vertedero (L/s.m)
<b>Metcalf-Eddy</b>	32-48	1.5-2.5	3-5	1.4-5.8
<b>Normas de 10 estados</b>	41	---	>2.1	<2.2
<b>Manual del ejercicio naval de EE.UU</b>	49 12-41	---	3 2.5-4-5	<14
<b>Steel-McGhree</b>	24-60	1-2	1-5	0.7-1.7
<b>USEPA</b>	24-49	---	3-5	---
<b>Tchonobanoglous-Schoreder</b>	30-60	---	3-5	---
<b>IWCP</b>	30-45	2	>1.5	1.2-5.2

**Fuente:** ROMERO J., Tratamiento de Aguas residuales

<sup>13</sup>METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen II, 3<sup>er</sup> edición, Editorial Mc Graw-Hill, España 1995, Pp. 539

### 1.5.7.1.1 Área del Sedimentador

Para la determinación del área del Sedimentador se utiliza la expresión publicada por Metcalf-Eddy, misma que está en función de la carga superficial y que viene dada por:

$$C_{sp} = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.1-1}$$

De la ecuación anterior despejamos el área de la superficie del tanque, A

$$A = \frac{Q}{C_{sp}} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.1-2}$$

Dónde:

$C_{sp}$  = carga de superficie, ( $m^3/m^2 \cdot d$ ).

A = área superficial del tanque, ( $m^2$ ).

Q = caudal de agua residual, ( $m^3/h$ ).

**Tabla 1-12: Información típica para el diseño de tanques de decantación primaria**

Características		Valor	
		Intervalo	Típico
Decantación primaria seguida de tratamiento secundario	Tiempo de detención, h	1.5-2.5	2.0
	Carga de superficie, $m^3/m \cdot d$		
	A caudal medio	800-1200	
	A caudal punta	2000-3000	2500
	Carga sobre vertedero, $m^3/m \cdot d$	10000-40000	20000
Sedimentación primaria con adición del fango activado en exceso	Tiempo de detención, h	1.5-2.5	2.0
	Carga de superficie, $m^3/m \cdot d$		
	A caudal medio	600-800	
	A caudal punta	1200-1700	1500
	Carga sobre vertedero, $m^3/m \cdot d$	10000-40000	20000

**Fuente:** METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen II, 3er edición, Editorial Mc Graw-Hill, España 1995, Pp. 542

### 1.5.7.1.2 Cálculo del Diámetro del Sedimentador

Para este cálculo se utiliza la ecuación siguiente:

$$A = \frac{\pi \cdot \varphi^2}{4} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.2-1}$$

Dónde:

$\varphi =$  diámetro del tanque, (m).

$A =$  área del tanque sedimentador, (m<sup>2</sup>).

Despejando  $\varphi$  de la ecuación anterior tenemos:

$$\varphi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.2-2}$$

### 1.5.7.1.3 Cálculo del radio del Sedimentador

Para encontrar el radio partimos de la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\varphi}{2} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.3-1}$$

Dónde:

$r =$  radio, (m).

$\varphi =$  diámetro del tanque sedimentador, (m).

#### 1.5.7.1.4 Cálculo del Volumen del Sedimentador

Para calcular el volumen del sedimentador se debe tomar en cuenta su extensión en función de tres dimensiones largo, ancho y altura, que viene dada por la siguiente expresión, en el caso de elegir uno de geometría rectangular:

$$V_s = l_s * a_s * h_s \quad \text{Ec. 1.5.7.1.4-1}$$

Dónde:

$V_s =$  volumen del sedimentador, ( $m^3$ )

$l_s =$  largo del sedimentador, ( $m$ ).

$a_s =$  ancho del sedimentador, ( $m$ ).

$h_s =$  altura del sedimentador, ( $m$ ).

Conociendo que:

$$A = l_s * a_s \quad \text{Ec. 1.5.7.1.4-2}$$

Dónde:

$A =$  área del tanque sedimentador, ( $m^2$ )

$l_s =$  largo del sedimentador, ( $m$ ).

$a_s =$  ancho del sedimentador, ( $m$ ).

Así mismo, para el diseño y construcción de un tanque la relación entre el largo y ancho que se debe aplicar es de 1/3 respectivamente, tomando en cuenta esta consideración se tiene lo siguiente:

$$l_s = 3a_s \quad \text{Ec. 1.5.7.1.4-3}$$

Al reemplazar luego se tiene:

$$a_s = \sqrt{\frac{A}{3}} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.4-4}$$

Pero si se quiere elegir un sedimentador circular el volumen se determina con la expresión siguiente:

$$V_s = \pi r^2 h_s \quad \text{Ec. 1.5.7.1.4-5}$$

Dónde:

$V_s =$  Volumen del tanque homogenizador ( $m^3$ ).

$r =$  Radio del tanque (m).

$h_s =$  Altura del tanque (m)

**Tabla 1-13: Información típica para el diseño de tanques de decantación rectangulares y circulares utilizados en el tratamiento primario de AR**

Tipo de tanque		Valor	
		Intervalo	Típico
Rectangular	Profundidad, m	3-4.5	3.6
	Longitud, m	15-90	25-40
	Anchura, m	3-25	5-10
	Velocidad de los rascadores, m/min	0.6-1.2	0.9
Circular	Profundidad, m	3-4.5	3.6
	Diámetro, m	3-60	12-45
	Pendiente de la solera, mm/m	6.25-16	8
	Velocidad de los rascadores, r/min	0.02-0.05	0.03

**Fuente:** METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen II, 3er edición, Editorial Mc Graw-Hill, España 1995, Pp. 544

### 1.5.7.1.5 Cálculo del área de la sección transversal

Para determinar el área de la sección transversal del sedimentador utilizamos la ecuación descrita a continuación:

$$A_{st} = \frac{V_s}{l_s} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.5-1}$$

Dónde:

$A_{st}$  = área de la sección transversal del sedimentador, ( $m^2$ )

$l_s$  = largo del sedimentador, ( $m$ ).

$V_s$  = volumen del sedimentador, ( $m$ ).

### 1.5.7.1.6 Tiempo de Retención Hidráulica

“Los tanques de decantación primaria se proyectan para un tiempo de retención entre 1.5 a 2.5 horas para el caudal medio del agua residual. 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”<sup>14</sup>. Así para determinar el tiempo de retención hidráulica nos basamos en la expresión expuesta a continuación:

$$T_{RH} = \frac{Q}{V_s} \quad \text{Ec. 1.5.7.1.6-1}$$

Dónde:

$T_{RH}$  = tiempo de retención hidráulica, ( $h$ )

---

<sup>14</sup>METCALF-EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen II, 3<sup>er</sup> edición, Editorial Mc Graw-Hill, España 1995, Pp. 540



$Q = \text{Caudal de AR a tratar, (m}^3/\text{h)}.$

$V_s = \text{volumen del sedimentador, (m}^3\text{)}.$

### **1.5.8 FILTRACIÓN**

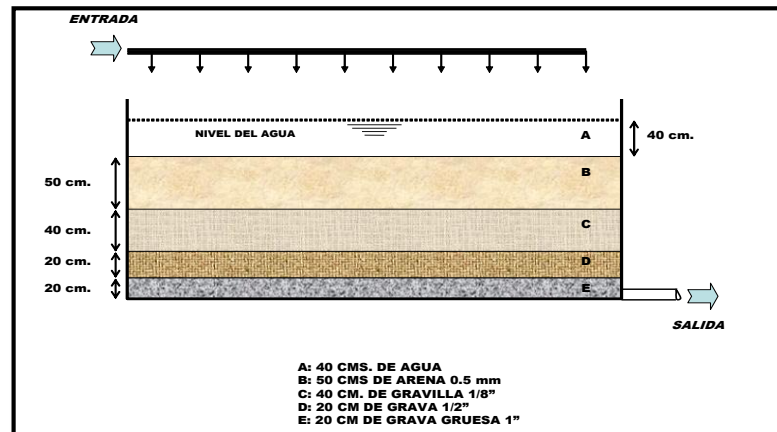
La filtración es una operación unitaria de mucha importancia que debe estar formando parte de un sistema de depuración de aguas residuales. Esta operación se utiliza con la finalidad de retener la mayor cantidad de sólidos presentes en el agua que no se ha podido eliminar en la etapa de sedimentación. La filtración se emplea con mayor frecuencia después de un proceso de sedimentación, ya que si el agua pasa directamente a una filtración y si la cantidad de sólidos en suspensión es muy grande puede ocurrir que el filtro se sature.

#### **1.5.8.1 FILTRACIÓN EN GRAVA Y ARENA**

La filtración a través de medios granulares ha demostrado ser económicamente bondadosa y muy eficiente al momento de separar los sólidos suspendidos que la sedimentación no pudo retener.

El filtro que más ha sido utilizado es el que contiene un lecho de arena y grava que retiene los sólidos suspendidos cuando el agua pasa a través de algunas capas de este material. Para que esta operación tenga la mayor eficiencia es necesario someter al agua a un tratamiento previo con sustancias químicas que favorezcan al proceso de coagulación-floculación, ya que con esto se logra obtener un floculo de mayor tamaño y con grandes posibilidades de ser retenido entre el material filtrante.

Un filtro de arena y grava estándar puede tener las características mostradas en la siguiente figura, en lo que respecta a la granulometría y altura de las diferentes capas así como la disposición de las mismas dentro del filtro.



**Figura 8: Filtro de Arena y Grava**

**Fuente:** <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

### 1.5.8.2 FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

En este tipo de filtro tiene lugar un proceso de crecimiento adherido y es empleado para retener toda sustancia que se encuentre soluble en el agua objeto de tratamiento. Los lechos filtrantes que se usa en el filtro pueden ser: esferas plásticas, anillos de plástico, piedras, arenas dispuestas de maneras distintas.

El filtro anaerobio en relación a otros es de fácil mantenimiento, debido a que en él se forma una película de biomasa adherida y la probabilidad de que se dé un taponamiento por la retención de materia soluble es mínima, esto porque el flujo es de tipo ascensional.

El agua contaminada se hace pasar a través de una masa biológica que se encuentra contenida en un medio filtrante, esto hace que los microorganismos se adhieran a la

superficie del medio y formen una biopelícula muy fina o también pueden agruparse como lodos floculados dentro de los espacios intersticiales que existen en el medio, es en esta biopelícula en donde se va a difundir toda la materia orgánica soluble permitiendo la clarificación del agua en proceso de tratamiento.

Los factores que afectan a la eficiencia para este tipo de proceso son:

- Temperatura
- pH
- Nutrientes
- El tiempo de residencia
- El medio de soporte (área superficial, porosidad, altura del lecho)

Y la eficiencia para reducir la carga orgánica contaminante viene dada por la siguiente expresión:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100 \qquad \text{Ec. 1.5.8.2-1}$$

Donde:

*E = Eficiencia*

*S<sub>0</sub> = Concentración de DBO en el afluente (mg/L de DQO, DBO5 o SST).*

*S = Concentración de DBO en el efluente (mg/L de DQO, DBO5 o SST).*

### 1.5.8.3 DISEÑO DEL FILTRO

#### 1.5.8.3.1 TIEMPO DE RETENCIÓN

$$T_{RH} = \frac{V_a}{Q} \quad \text{Ec. 1.5.8.3.1-1}$$

Donde:

$T_{RH}$  = *Tiempo de retencion hidraulica del filtro (d)*

$V_a$  = *Volumen del tanque de aireacion (m<sup>3</sup>)*

$Q$  = *Caudal de entrada al tanque de aireacion (m<sup>3</sup>/d).*

#### 1.5.8.3.2 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA

La carga orgánica volumétrica se define como:

$$L = \frac{S_0}{T_{RH}} \quad \text{Ec. 1.5.8.3.2-1}$$

Donde:

$T_{RH}$  = *Tiempo de retencion hidraulica del filtro (d)*

$S_0$  = *Concentracion del contaminante del afluente (Kg/m<sup>3</sup>)*

$L$  = *Carga Organica volumetrica (Kg/m<sup>3</sup>. d).*

## **1.6 NORMATIVA AMBIENTAL**

La normativa ambiental tiene como objetivo prevenir y controlar la contaminación que pueda generarse en lo que tiene que ver en este caso al recurso agua. Las normas tienen como fin principal proteger la calidad de este recurso para garantizar y preservar la salud de las personas, de los ecosistemas, especies que habitan en nuestro planeta y del ambiente en general.

### **1.6.1 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.

### **1.6.2 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.

### 1.6.3 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: Recurso Agua. “La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua”<sup>15</sup>

En la tabla 11, se puede encontrar los límites de descarga de efluentes al alcantarillado público, los cuales también son base para la caracterización físico-química de la muestra compuesta del agua residual.

**Tabla 1-14: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cloruros	Cl <sup>-1</sup>	mg/L	---
Cromo hexavalente	Cr <sup>+3</sup>	mg/L	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/L	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/L	500
Aceites y Grasas	---	mg/L	---
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	40
Solidos Sedimentables	---	mg/L	20
Solidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	220
Solidos Totales	ST	mg/L	1600
Potencial de Hidrogeno	pH	---	5-9

**Fuente:** TULAS, Libro VI, Anexo I. Recurso Agua. Tabla 11

<sup>15</sup> TULAS Libro VI., Anexo 1. Recurso Agua

En la tabla 12 del libro VI, Anexo I del TULAS. Se encuentra los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, los cuales son la base para la caracterización físico-química de la muestra compuesta.

**Tabla 1-15: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

<b>Parámetro</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Potencial de hidrógeno</b>	pH		5-9
<b>Materia flotante</b>	Visibles		Ausencia
<b>Aceites y Grasas.</b>	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
<b>Coliformes fecales</b>	Nmp/100ml		Remoción > 99.9%
<b>Color real</b>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</b>	D.B.O5.	mg/l	100
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	D.Q.O.	mg/l	250
<b>Sólidos Sedimentables</b>		ml/l	1,0
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>		mg/l	100
<b>Sólidos totales</b>		mg/l	1 600
<b>Temperatura</b>	°C		< 35
<b>Tensoactivos</b>	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
<b>Cloruros</b>	Cl-	mg/l	1 000
<b>Nitratos + Nitritos</b>	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

**Fuente:** TULAS, Libro VI, Anexo I. Recurso Agua. Tabla 12

#### **1.6.4 LEY ORGÁNICA DE LA SALUD**

Es de vital importancia conservar la calidad del agua Art. 6, aplicar un tratamiento de aguas residuales apropiado pues se prohíbe la descarga de efluentes contaminados sin previo tratamiento Art. 103.

# **CAPITULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**



## **CAPITULO II**

### **2 PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1 MUESTREO**

El muestreo de aguas residuales es una actividad que se realiza con el propósito de identificar la composición de dichas aguas. Es necesario que la muestra tomada sea realmente representativa en los puntos que sean necesarios, con el objeto de obtener resultados reales y optimizar los recursos económicos, ya que el costo de los análisis en el laboratorio son elevados.

Antes de empezar la toma de muestras, se realizó el reconocimiento de la planta para determinar la salida del efluente y el punto exacto donde convergen las corrientes provenientes de los diferentes procesos efectuados en la industria láctea, sitio en el cual se realizó el muestreo.

##### **2.1.1 MEDICIÓN DE CAUDALES**

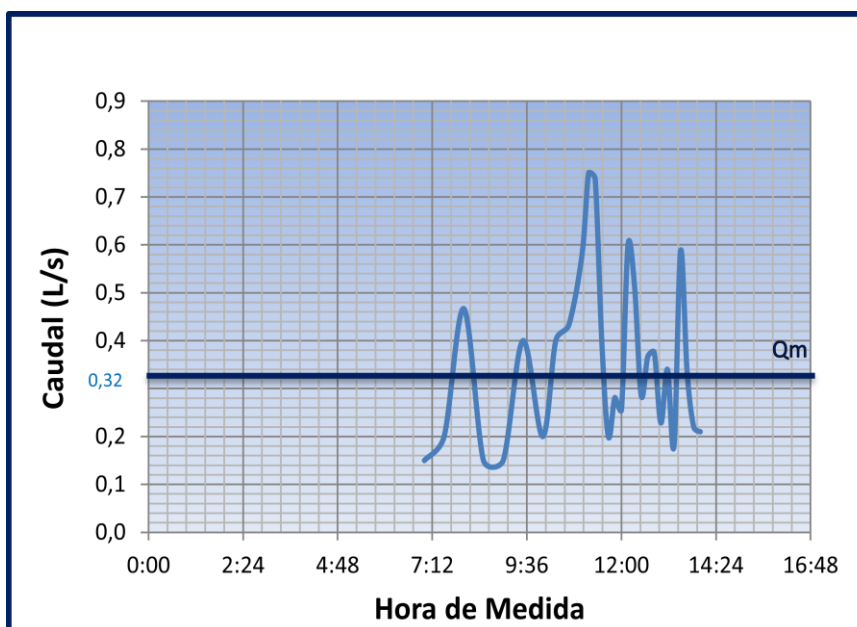
Luego de situar el punto donde se iba a realizar la toma de las muestras, se procedió a determinar el caudal de agua residual generado por la planta de lácteos Lactogal Cía. Ltda. Para lo cual nos basamos en el método volumétrico que se utiliza para medir caudales pequeños, empleando un recipiente de un volumen determinado en el cual se capta el agua registrando el tiempo que se demora en recoger una determinada cantidad de fluido. Para la medición de caudales no se utilizó un recipiente de volumen conocido debido al reducido espacio y dificultad para la medición.

Este procedimiento se realizó en un intervalo de 10 minutos durante la jornada de trabajo en 5 días de la semana, con el propósito de determinar el caudal medio y que los datos obtenidos sirvan para graficar una curva que permita encontrar el máximo caudal en una hora puntual. Esto facilito la toma de una muestra compuesta.

### 2.1.2 PLANIFICACIÓN DE MUESTREO

Se tomaron 3 muestras en diferentes días de la semana en una de las cajas de retención en donde convergen las corrientes de agua residual provenientes de los diferentes procesos de elaboración de productos lácteos. Las muestras fueron tomadas en las descargas que presentaron mayor flujo de agua y elevada contaminación en base a la curva graficada con los datos obtenidos en la medición de caudales.

**Gráfico 1. Medición de Caudales**



**Fuente:** Mauricio Guaña

Se tomó 5 muestras simples en un tiempo específico, para luego preparar una muestra compuesta de 3 litros, tanto para un máximo de caudal como para la máxima contaminación del agua, mezcladas estas aguas se tomó una muestra única. Una vez obtenida la muestra fue trasladada al laboratorio de análisis técnico de la ESPOCH y al DEPEC de la Universidad Central Del Ecuador para la caracterización de la misma. El mismo procedimiento se realizó para el resto de muestras compuestas.

## **2.2 METODOLOGÍA**

### **2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.2.1.1 MÉTODOS**

El estudio de este trabajo investigativo es de carácter experimental, basado en procesos lógicos como la inducción y deducción, ya que es necesario identificar el tipo de contaminantes presentes en el aguas residual vertida desde la industria láctea hacia la red de alcantarillado público y cuál de estos contaminantes se encuentra en mayor cantidad, de tal forma que permita identificar los parámetros que influyen sobre la investigación para llegar al sistema de tratamiento más adecuado y que se ajuste a las necesidades de la planta.

##### **2.2.1.1.1 Deductivo**

En el presente trabajo investigativo, este método permitió realizar diferentes experimentaciones como medición de caudales, caracterización del agua residual, con el propósito de diseñar un sistema de tratamiento, de manera que facilite el análisis y las posibles soluciones a los problemas de aguas residuales generadas en la industria láctea Lactogal.

#### **2.2.1.1.2 Experimental**

La parte experimental de esta investigación se realizara tomando muestras representativas y llevándolas a un análisis en el laboratorio para obtener resultados que ayuden a encontrar un sistema de tratamiento de aguas residuales eficiente para la planta de lácteos Lactogal y luego de que el agua pase por el sistema cumpla con los parámetros y especificaciones establecidas en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) para descargas líquidas hacia el alcantarillado público.

#### **2.2.1.2 TÉCNICAS**

##### **2.2.1.2.1 Análisis del Agua**

En el agua se analizaran los siguientes ensayos basados en las normas y técnicas de la APHA / AWWA / WEF, ASTM, EPA, DIN, INEN con la finalidad de asegurar la fiabilidad de los resultados y con el fin de cumplir con los organismos de control.

### 2.2.1.2.1.1 pH en Agua

**Tabla 2 -1: Determinación del pH**

FUNDAMENTO	OBJETO	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>Este procedimiento tiene por objeto describir la sistemática usada para la determinación del potencial de hidrogeno (pH) en muestras de aguas y descargas mediante método electrométrico.</p>	<p>Para lo cual necesitamos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-pH-Metro de electrodo combinado y corrector de temperatura. Equipo EI/27.</li> <li>-Vasos de precipitación de varios volúmenes.</li> <li>-Embudos de filtración simple.</li> <li>-Papel filtro cuantitativo de filtración lenta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Calibre en pH-metro</li> <li>b) Coloque en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo de vidrio.</li> <li>c) Sumerja los electrodos en la muestra y suavemente revuelva a una velocidad constante para proporcionar la homogeneidad y suspensión de los sólidos, y esperar hasta que la lectura se estabilice.</li> <li>d) Anote el valor de la lectura en el protocolo de trabajo.</li> <li>e) Enjuague el electrodo con agua destilada y repita los pasos 2 y 3 sobre alícuotas sucesivas de muestra hasta valores en el que la diferencia de pH sea <math>&lt; 0,1</math>. Usualmente dos o tres cambios de volumen son suficientes.</li> </ul>	<p>En la determinación de pH no se requiere cálculo alguno, el valor se obtiene directamente del pH-metro. Las variaciones de temperatura de la muestra son ajustadas automáticamente por el equipo.</p>

### 2.2.1.2.1.2 Sólidos Totales

**Tabla 2 -2: Determinación de Sólidos Totales método APHA 2540 B**

FUNDAMENTO	OBJETO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno, el aumento de peso de la placa vacía representa los sólidos totales	Estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión presente en el agua residual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cápsulas de porcelana de 90 mm de diámetro</li> <li>- Desecador</li> <li>- Horno de mufla</li> <li>- Horno de secado</li> <li>- Balanza de análisis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar las cápsulas una vez pesadas al horno de secado a 103-105 C durante una hora, luego poner en el desecador por el tiempo necesario.</li> <li>- Poner un volumen de la muestra considerable y mezclada en la cápsula, evaporarla hasta que se seque en un horno de secado a 2 C o baño de vapor.</li> <li>- Secar la muestra evaporada en un horno a 103-105 C por una hora.</li> <li>- Enfriar en el desecador y pesar.</li> <li>- Realizar varios ensayos hasta obtener el peso constante.</li> </ul>	<p><b>Sólidos totales secados a 105°C</b></p> $ST(mg/l) = \frac{P(residuo + capsula) - P(capsula) * 1000}{V(muestra\ en\ ml)}$

**Fuente:** Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 2540B., Pp. 81

### 2.2.1.2.1.3 Sólidos Suspendidos Totales

**Tabla 2 -3: Determinación de Sólidos Suspendidos Totales método APHA 2540 D**

FUNDAMENTO	OBJETO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Los sólidos en suspensión se determinan por diferencia de peso de un filtrado por el cual se hace pasar la muestra.	Establecer la cantidad de sólidos a ser tratados en tratamiento secundario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cápsulas de porcelana</li> <li>- Tubos de centrifugadora</li> <li>- Desecador</li> <li>- Estufa de secado (103-105C)</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Papel filtro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poner en la estufa la cápsula limpia, llevar al desecador por y pesar antes de usarla.</li> <li>- Filtrar un volumen determinado de la mezcla.</li> <li>- Lavar la mezcla con agua destilada.</li> <li>- Colocar el filtro en una cápsula y secarlo en la estufa a 103-105 C por 1 hora.</li> <li>- Poner en el desecador para que se enfríe.</li> <li>- Pesar las cápsulas.</li> </ul>	<p>Se calcula a partir de la siguiente ecuación:</p> $SST(mg/l) = \frac{(A - B) * 1000}{V(muestra\ en\ ml)}$ <p>Donde:  A= Peso de residuo seco + cápsula mg  B= Peso de la cápsula en mg</p>

**Fuente:** Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 2540D

### 2.2.1.2.1.4 Sólidos Suspendidos Sedimentables

**Tabla 2 -4: Determinación de Sólidos Sedimentables método APHA 2540 B**

FUNDAMENTO	OBJETO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado.	Conocer la cantidad de sólidos que pueden ser eliminados en el tratamiento primario de las aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cono Imhoff</li> <li>- Soporte para el cono</li> <li>- Varilla de agitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogenizar la muestra e inmediatamente llenar el cono Imhoff hasta la marca de 1 L.</li> <li>- Dejar que la muestra repose por 45 min.</li> <li>- Dejar que la muestra repose por 45 min.</li> <li>- Se remueven suavemente las paredes con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos a las paredes.</li> <li>- Dejar reposar por otros 15 min y se registra el volumen de sólidos Sedimentables en el cono como: mg/L.</li> </ul>	<p>Se calcula a partir de la siguiente ecuación:</p> <p>S Sedimentables (mg/l)=</p> $\frac{mg}{l} \text{ de materia suspendida}$ $- \frac{mg}{l} \text{ de materia no sedimentable}$

**Fuente:** Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 2540B



### 2.2.1.2.1.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 2 -5: Determinación de la DQO método APHA 5220 D

FUNDAMENTO	OBJETO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Una muestra se somete a reflujo con una solución de dicromato de potasio en medio ácido al 50%, y el exceso de bicromato se titula con sulfato ferroso amoniacal. La cantidad de materia orgánica oxidable es proporcional al bicarbonato de potasio que se consume.	Determinar la cantidad de compuestos oxidables presentes en el agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aparato de reflujo</li> <li>- Probeta graduada</li> <li>- Vaso de precipitación</li> <li>- Pipetas volumétricas</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Reactivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bicarbonato de potasio</li> <li>- Ácido sulfúrico</li> <li>- Solución valorada de sulfato ferroso amoniacal 0,25 N.</li> <li>- Indicador de ferroín</li> <li>- Sulfato de plata en cristales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poner 50 ml de muestra en el matraz esférico, junto con 25 ml de bicarbonato de potasio.</li> <li>- Luego, con cuidado adicionar 75 ml de ácido sulfúrico, mezclando después de cada adición.</li> <li>- Fijar el matraz al refrigerante y someter la mezcla a 2 horas de reflujo.</li> <li>- Diluir la mezcla a unos 350 ml y titular el exceso de bicarbonato con sulfato ferroso amoniacal valorado.</li> </ul>	<p>Se determina a partir de la siguiente ecuación:</p> $\frac{mg}{l} DQO = \frac{(a - b)8000}{ml \text{ de muestra}} - d$ <p>Dónde:</p> <p>DQO = Demanda química de oxígeno al bicromato.</p> <p>a = ml de sulfato ferroso amoniacal usado para el testigo.</p> <p>a = ml de sulfato ferroso amoniacal usado para la muestra.</p> <p>c = Normalidad del sulfato ferroso amoniacal</p> <p>d = Corrección por Cl = mg/L de Cl × 0,23</p>

**Fuente:** Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 5220 D., Pp. 356 - 357

### 2.2.1.2.1.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Tabla 2 -6: Determinación de la DBO método APHA 5210 B

FUNDAMENTO	OBJETO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La muestra de agua es incubada por cinco días a 20 C en la obscuridad, el progreso de la descomposición o estabilización de la materia orgánica en el agua se refleja en un lento agotamiento del oxígeno disuelto durante el periodo de incubación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocer la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable.</li> <li>- Determinar la carga contaminante del agua residual analizada.</li> <li>- Conocer la eficiencia del sistema de tratamiento aplicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frascos de incubación de 250-300 ml de capacidad.</li> <li>- Incubadora de aire o baño maría.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Reactivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Solución amortiguadora de fosfato.</li> <li>- Solución de sulfato de magnesio.</li> <li>- Solución de cloruro de calcio.</li> <li>- Solución de cloruro férrico.</li> <li>- Solución de sulfito de sodio 0,025 N.</li> <li>- Inóculo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación del agua de dilución.</li> <li>- Inoculación, adición de una población adecuada de microorganismos, para que oxiden la materia orgánica biodegradable.</li> <li>- Pretratamiento, tratamientos específicos según la muestra a analizar.</li> <li>- Dilución, de acuerdo a la muestra.</li> <li>- Determinación del OD,</li> <li>- Incubación, por cinco días a 20 C.</li> <li>- Corrección por el inóculo.</li> <li>- Control del agua por dilución.</li> </ul>	<p>Se determina de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando no se requiere inoculación:</li> </ul> $\frac{ml}{L} DBO = \frac{D_1 - D_2}{P}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando se emplea agua de dilución inoculada:</li> </ul> $\frac{ml}{L} DBO = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$ <p>Donde:</p> <p><math>D_1</math> = OD de la muestra diluida, después de 15 min de su preparación.</p> <p><math>D_2</math> = OD de la muestra diluida, después de la incubación.</p> <p><math>P</math> = Fracción decimal, de la muestra usada.</p> <p><math>B_1</math> = OD de la disolución de control del inóculo, antes de la incubación.</p> <p><math>B_2</math> = OD de la disolución de control del inóculo, después de la incubación.</p> <p><math>f</math> = Relación del inóculo en la muestra al inóculo en el control.</p>

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 5210 B., Pp.282 - 288

### 2.2.1.2.1.7 Determinación de Coliformes Fecales

**Tabla 2 -7: Determinación de Coliformes Fecales**

FUNDAMENTO	OBJETO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El agua contiene bacterias cuyas necesidades nutritivas y de temperatura óptima de desarrollo son variables. Los estreptococos fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre. 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>Este método describe el procedimiento usado para la determinación de Coliformes fecales (CF) sobre muestras acuosas, mediante la técnica del filtro de membrana.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistema de filtración</li> <li>-Mechero Bunsen</li> <li>-Estufa de incubación</li> <li>-Nevera</li> <li>-Contador de colonias</li> <li>-Pipeta automática MV/20</li> <li>-Pipeta automática MV/21</li> <li>-Cajas Petri 60x15 mm MV/53</li> <li>-Pinzas metálicas</li> <li>-Puntas desechables de 5 y 1 ml</li> <li>-Filtros de membrana estériles de <math>0,45 \pm 0,02 \mu\text{m}</math></li> </ul>	<p>Una cantidad predeterminada de muestra es filtrada a través de un filtro membrana el cual retiene las bacterias encontradas en la muestra.</p> <p>En el procedimiento de enriquecimiento de dos pasos, los filtros que contienen las bacterias son colocados en cartón absorbente saturado de caldo m-FC con ácido rosàlico, e incubado invertido a <math>44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}</math> por 24 horas + 2, las colonias azules son contadas bajo magnificación y reportadas en 100 ml de muestra; en algunos casos las colonias pueden ser de color rosa, debido a una insuficiente cantidad de medio de cultivo o una inadecuada dilución.</p>	<p><b>Calculo de La Densidad de Coliformes Fecales:</b></p> <p>Reporte la densidad como Coliformes fecales en/100 ml calcule usando la siguiente ecuación:</p> $\text{Coliformes fecales} / 100\text{ml} = \frac{\text{Cc} * 100 * f}{M}$ <p><b>Donde:</b>            Cc: colonias de Cf contadas en la placa (o promedio de duplicados)            f: factor de dilución            M: volumen de muestra filtrada</p>

## **2.3 DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1 DIAGNÓSTICO**

La industria láctea Lactogal recolecta aproximadamente entre 4000 y 5000 litros de leche cruda diariamente, destinando para el procesamiento un 24 por ciento para la producción de leche pasteurizada, 16 por ciento para la elaboración de queso y un 20 por ciento para la fabricación del yogurt, el porcentaje restante de esta leche es entregada a la industria láctea La Holandesa ubicada en Quito como materia prima para la elaboración de productos lácteos.

Antes, durante y después del procesamiento de los productos lácteos, la planta genera un volumen considerable de agua residual con un caudal promedio de 0.3 L/s, siendo el lavado de equipos y limpieza de instalaciones las fuentes que más agua de desecho producen presentando en su composición gran cantidad de materia orgánica principalmente, también se encontró en la caja de revisión restos de trapos, trozos de cerámica. Esta agua es descargada directamente al sistema de alcantarillado público sin antes haber recibido ningún tipo de tratamiento para bajar la contaminación.

Luego de haber realizado el muestreo correspondiente el agua residual fue llevada al laboratorio para la caracterización físico química y microbiológica de la misma, presentando un elevado DQO y DBO, y con el resto de parámetro fuera de los rangos establecidos en el TULAS para la descarga de agua al alcantarillado público.

Siendo esta la situación actual de la planta se determinara un sistema para el tratamiento del agua residual producida con el fin de disminuir la contaminación al medio ambiente.

## 2.3.2 DATOS

### 2.3.2.1 PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS

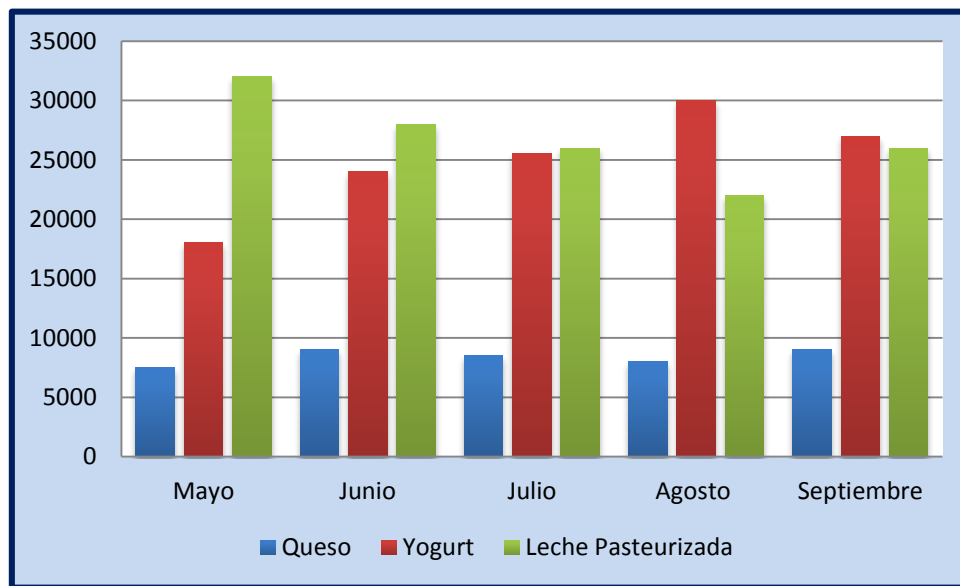
La producción varía debido a que en la planta se elaboran los productos lácteos de acuerdo a la necesidad de los clientes y en función del mercado.

**Tabla 2 -8: Producción de Lácteos (Mayo 2013 - Septiembre 2013)**

Producto	Mes				
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Queso	7500	9000	8500	8000	9000
Yogurt	18000	24000	25500	30000	27000
Leche Pasteurizada	32000	28000	26000	22000	26000

**Fuente:** Planta de Lácteos Lactogal

**Grafico 2. Producción de Lácteos**



El grafico 2 indica la variabilidad en la producción de los productos lácteos de un mes a otro por la situación indicada arriba.

### 2.3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 2.3.3.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

Luego de obtener una muestra de agua residual, esta fue llevada al laboratorio para su caracterización, dando los resultados siguientes.

**Tabla 2 -9: Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos del AR**

Parámetros	Unidad	Método	Resultados				Límites
			Muestra1	Muestra2	Muestra3	Promedio	
<b>pH</b>	UND	4500-B	4.75	7.13	4.5	5.56	5-9
<b>Conductividad</b>	μS/cm	2510-B	1653	547	-----	1100	
<b>Alcalinidad</b>	mg/L	2320-C	680	300	-----	490	
<b>Turbiedad</b>	UNT	2130-B	660	287	1560	836	
<b>DQO</b>	mg/L	5220-C	6270	3640	12090	7333	500
<b>DBO</b>	mg/L	5210-B	4450	1330	7000	4260	250
<b>Sólidos disueltos</b>	mg/L	2530-D	824	340	18807	6657	
<b>Sólidos totales</b>	mg/L	2530-B	14239	1276	19727	11747	1600
<b>Coliformes totales</b>	UFC/ml	Membranas Filtrantes	285×10 <sup>3</sup>	519×10 <sup>5</sup>	9.2×10 <sup>6</sup>	205×10 <sup>5</sup>	
<b>Mohos y levaduras</b>	UPC/ml	Membranas Filtrantes	80×10 <sup>3</sup>	4×10 <sup>5</sup>	6×10 <sup>3</sup>	16×10 <sup>4</sup>	

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos (ESPOCH) y DPEC (UCE)

### 2.3.3.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS PARÁMETROS A CONSIDERAR

Luego de haber analizado el AR, se tomara en consideración los parámetros expuestos en la tabla 2-10 y que se tratara de disminuir en lo posible a valores que se acerquen a los límites permisibles de acuerdo a la normativa ambiental.

**Tabla 2 -10: Parámetros Importantes a Considerar**

Parámetros	Unidad	Resultados			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
<b>pH</b>	UND	4.75	7.13	4.5	5.56
<b>Turbiedad</b>	NTU	660	287	1560	836
<b>BQO</b>	mg/L	6270	3640	12090	7333
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	4450	1330	7000	4260
<b>Sólidos totales</b>	mg/L	14239	1276	19727	11747

### 2.3.4 PROCESO DE TRATABILIDAD. “TEST DE JARRAS”

Este tipo de ensayo se realiza con el propósito de determinar, a nivel de laboratorio la dosis adecuada de sustancias químicas que deberá aplicarse en una planta de tratamiento de agua residual, con el fin de mejorar los parámetros y por ende la calidad del agua a descargar al ambiente, además este proceso es de mucha ayuda como una herramienta para el diseño de un sistema de tratamiento de agua en general.

#### 2.3.4.1 ENSAYO DE BOTELLAS

Previamente al test de jarras se realizó ensayos preliminares en botellas con la finalidad de encontrar la dosificación más adecuada para lograr la clarificación del agua residual y minimizar el consumo de insumos químicos, para posteriormente aplicar en los ensayos de jarras como tal.



**Figura 9: Ensayo de Botellas**

**Fuente:** Mauricio Guaña.

#### **2.3.4.2 ENSAYO DE JARRAS**

##### **Equipos y Materiales:**

- Equipo de Jarras
- Balón aforado (100ml; 500ml; 1000ml)
- Vasos de precipitación (100ml; 500ml; 1000ml)
- Pipetas graduadas (5ml, 10ml)
- Probeta graduada (1000ml)
- pH-metro
- Turbidímetro
- Jarras (2L)
- Balanza analítica
- Espátula
- Vidrio de reloj
- Pera



## **Sustancias y Reactivos utilizados en el Tratamiento**

- Agua destilada
- Coagulantes:
  - Policloruro de Aluminio al 1 %
  - Solución de Sulfato de Aluminio al 10%
  - Solución de Cloruro Férrico al 10%
- Floculantes:
  - Floculante a base de Poliacrilamida al 0,075%
  - Cal (óxido de calcio) al 10%
- Agua Residual

## **Procedimiento:**

1. Medir el pH y la turbidez de la muestra de agua residual.
2. Ajustar el pH con la adición de cal.
3. Colocar un litro de agua residual cruda en cada una de las 5 jarras contenidas en el equipo.
4. Añadir dosis progresivas de coagulante y agregar una cantidad determinada de floculante en cada jarra, manteniendo la concentración de este último constante.
5. Ejecutar la mezcla rápida a 100 rpm por un minuto.
6. Disminuir la velocidad a 30 rpm por 10 minutos.
7. Suspender la agitación y extraer las paletas.
8. Dejar que las muestras sedimenten durante 20 minutos.
9. Luego tomar una muestra de cada una de las jarras y determinar el pH y turbidez.
10. Extraer una nueva muestra de cada jarra luego de 1 hora de reposo y medir los parámetros mencionados en el paso 9.
11. Repetir el procedimiento descrito para cada uno de los coagulantes y sustancias floculantes

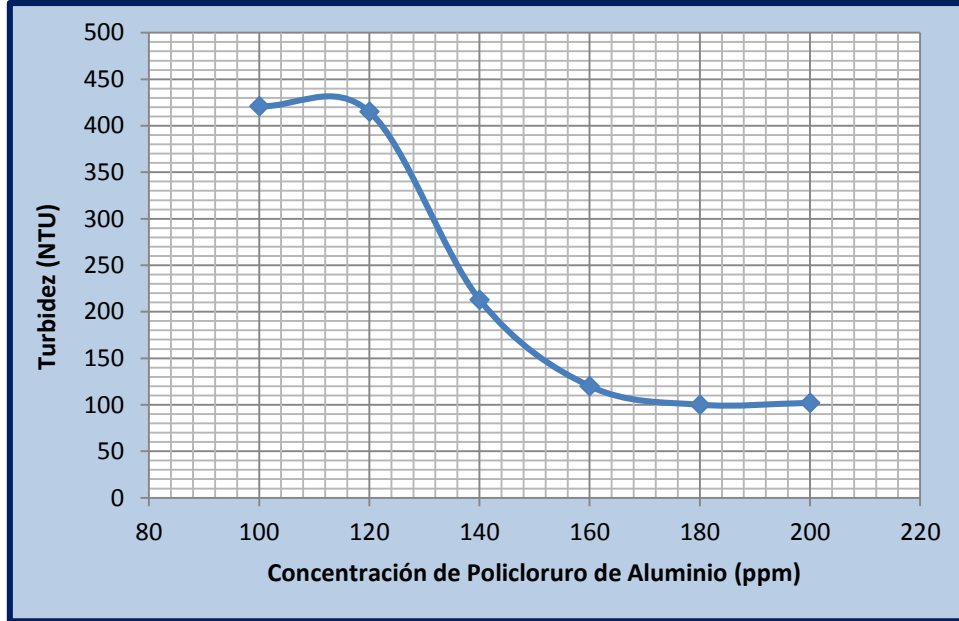
**A. Tratamiento con Policloruro de Aluminio y Floculante (poliacrilamida)**

**Tabla 2 -11: Ensayo del Tratamiento con Policloruro de Aluminio y Floculante**

Jarra	Floculante (Poliacrilamida) (0.075%)		Polímero (Policloruro de Aluminio) (1%)		Turbidez	
	ppm	ml	ppm	ml	Luego de 20 minutos de reposo NTU	Luego de 1 hora de reposo NTU
1	750	13	100	10	452	421
2			120	12	430	415
3			140	14	247	213
4			160	16	156	120
5			180	18	110	100
6			200	20	106	102

**Fuente:** Mauricio Guaña.

**Grafico 3. Variación de dosis de Policloruro de Aluminio VS Turbidez**



En el grafico 3 se muestra como la curva no baja más de 102 NTU a una dosis de 180 ppm de Policloruro de aluminio y empieza a tener un comportamiento lineal constante.

## B. Tratamiento con Sulfato de Aluminio y Cal

Las pruebas de botellas permitió conocer la cantidad de sulfato de aluminio necesaria para obtener agua con una clarificación muy buena, por lo que basados en este procedimiento se realizó pruebas manteniendo constante una cierta cantidad de sulfato de aluminio variando únicamente el pH con cal, esto con el fin de determinar el valor de pH al cual se forman mejor los floculos.

**Tabla 2 -12: Pruebas Experimentales del Tratamiento con Sulfato de Aluminio Variando el pH**

<i>Jarra</i>	$Al_2(SO_4)_3$	Potencial Hidrogeno	Resultado
#	(ppm)	(pH)	
1	1000	6.0	No forman floculos
2	1000	6.5	Floculos pequeños
3	1000	6.8	Floculos medianos
4	1000	7.2	Sedimentan floculos
5	1000	7.5	Floculos pequeños

**Fuente:** Mauricio Guaña.

En la tabla anterior se observa que el pH óptimo para la formación de floculos es de 7.2.

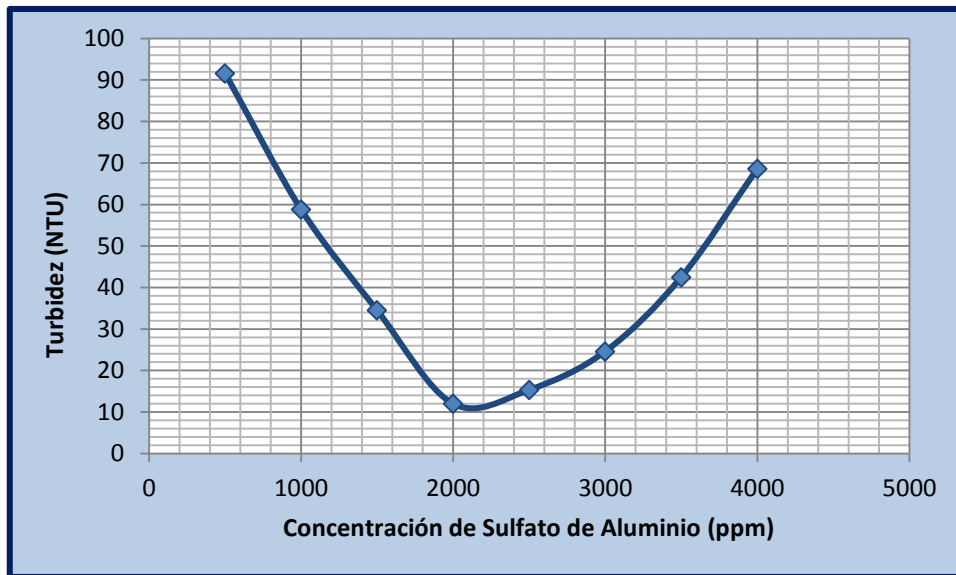
De acuerdo a esto se varió la dosis de sulfato de aluminio y aplico el procedimiento descrito anteriormente para el ensayo de jarras. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 2 -13: Prueba Experimental en el Tratamiento Con Sulfato de Aluminio**

Jarra	Solución de Cal (10%)		Solución de Sulfato de Aluminio (10%)		Turbidez	
					Luego de 20 minutos de reposo	Luego de 1 hora de reposo
#	ppm	ml	ppm	ml	NTU	NTU
1	600	6	500	5	198,0	91,6
2			1000	10	128,0	58,8
3			1500	15	95,0	34,9
4			2000	20	15,5	12,0
5			2500	25	22,4	15,35
6			3000	30	53,7	24,6
7			3500	35	93,6	42,5
8			4000	40	110,0	68,6

**Fuente:** Mauricio Guaña.

**Grafico 4. Variación de la dosis de Sulfato de Aluminio VS Turbidez**



El grafico 4 muestra en cambio como la curva llega a un mínimo de 12 NTU, esto se logra al dosificar 20 ml de la solución de sulfato de aluminio que corresponde a una concentración de 2000 ppm, luego de este punto presenta un ascenso de la turbidez.

Cabe recalcar que las tablas descritas arriba son las que presentaron los valores más bajos de turbidez luego de realizar varios ensayos para cada uno de los tratamientos, así también indicar que este parámetro fue determinado con un Turbidímetro marca HACH y que fue medido inmediatamente luego del tratamiento.

El resto de parámetros considerados para el diseño como la DBO, DQO, Sólidos, no fue posible determinarlos en el laboratorio luego del ensayo por no disponer de los equipos necesarios, por lo que se envió el agua ya clarificada a un laboratorio particular para valorar los parámetros en mención.

### 2.3.4.3 PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN

#### Procedimiento:

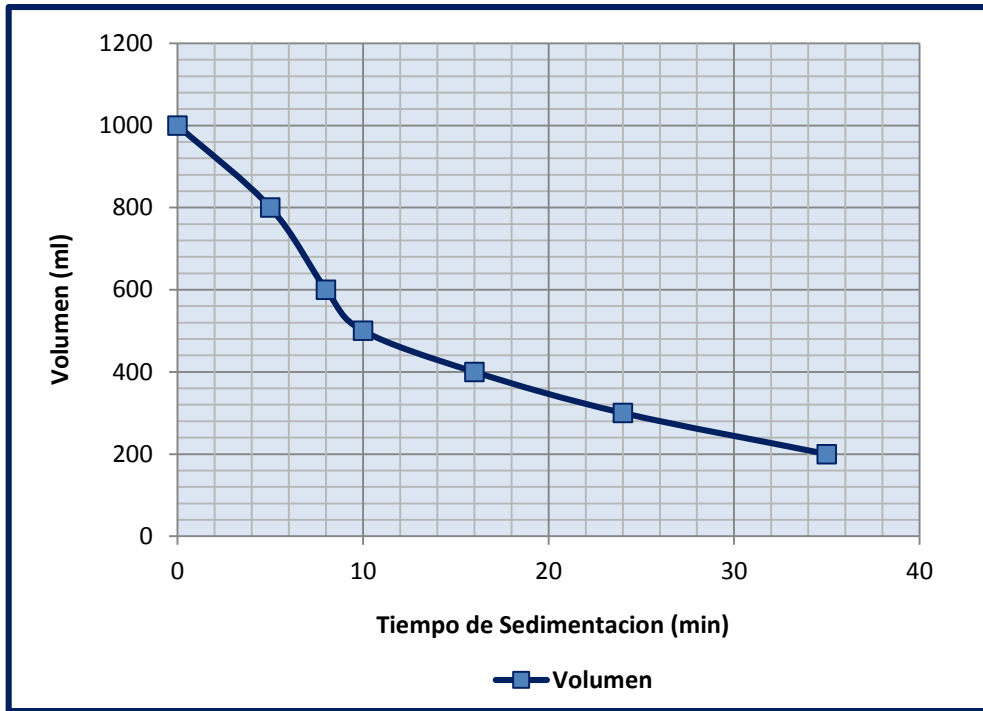
1. Colocar el agua que ha sido sometida al proceso de coagulación-floculación dentro de la probeta de 1000 ml de capacidad.
2. Dejar en reposo y registrar cada cierto tiempo el volumen que va ocupando el lodo en la probeta hasta alcanzar un tiempo en el cual el volumen de lodo se constante.
3. Con los datos obtenidos realizar un gráfico del volumen de lodo en función del tiempo de sedimentación.

**Tabla 2 -14: Tiempo de Sedimentación**

<b>Tiempo (min)</b>	0	5	8	10	16	24	35
<b>Volumen (ml)</b>	1000	800	600	500	400	300	200

**Fuente:** Mauricio Guaña.

**Grafico 5. Curva de Sedimentación**



#### 2.3.4.4 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

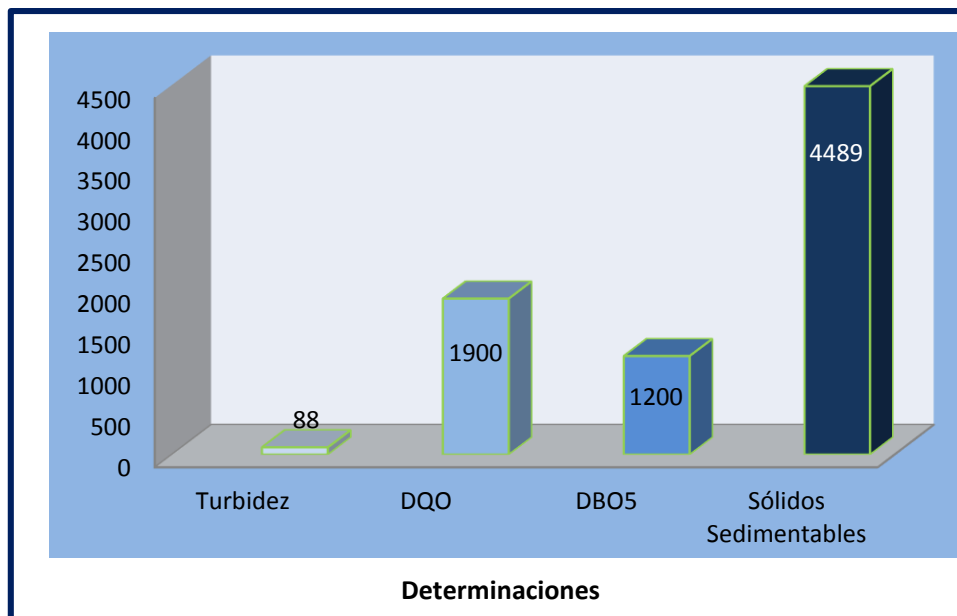
Luego de haber realizado el tratamiento del agua residual con los distintos insumos químicos, se tomó una muestra del efluente ya clarificado y llevada a un laboratorio para la caracterización fisicoquímica correspondiente.

**Tabla 2 -15: Análisis Fisicoquímico después del tratamiento con Policloruro de Aluminio**

Determinaciones	Unidades	Resultado
<b>pH</b>	pH	7.32
<b>Turbidez</b>	UFT	88
<b>DQO</b>	mg/L	1900
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	1200
<b>Sólidos Totales</b>	mg/L	5919

**Fuente:** Laboratorios de Análisis y Evaluación Ambiental (AqLab)

**Grafico 6. Valores obtenidos del Tratamiento con Policloruro de Aluminio**



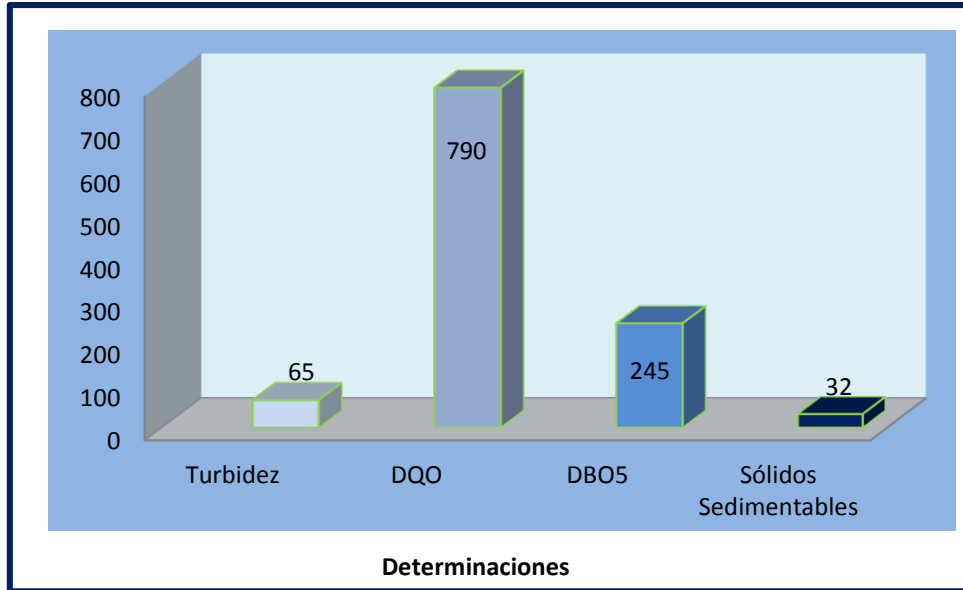
Como se observa en el grafico 6 el valor de turbidez baja considerablemente, sin embargo se registra un elevado valor de sólidos sedimentables presentes todavía en el agua problema que no han logrado depositarse al utilizar este químico como agente coagulante.

**Tabla 2 -16: Análisis fisicoquímico después del tratamiento con Sulfato de Aluminio**

Determinaciones	Unidades	Resultado
<b>pH</b>	pH	6.37
<b>Turbidez</b>	UFT	65
<b>DQO</b>	mg/L	790
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	245
<b>Sólidos Sedimentables</b>	mg/L	32

**Fuente:** Laboratorios de Análisis y Evaluación Ambiental (AqLab)

**Gráfico 7. Valores obtenidos del Tratamiento con Sulfato de Aluminio**



El gráfico 7 indica claramente como han disminuyen los valores de los parámetros tomados en cuenta para la valoración de cada uno de los coagulantes

### 2.3.5 QUÍMICOS REQUERIDOS

#### 2.3.5.1 SULFATO DE ALUMINIO

$$V_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{Dosis \cdot V_{agua\ tratar}}{C_{Al_2(SO_4)_3}} \quad \text{Ec. 2.3.5.1-1}$$

Donde:

$V_{Al_2(SO_4)_3}$  = Volumen de Sulfato de aluminio requerido, ( $m^3/d$ )

$C_{Al_2(SO_4)_3}$  = Concentración de Sulfato de aluminio, (ppm)

$V_{agua\ tratar}$  = Volumen de agua residual a tratar, ( $m^3/d$ )



$$V_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{2000ppm * 10m^3}{1000000 ppm}$$

$$V_{Al_2(SO_4)_3} = 0.02 m^3/d$$

$$V_{Al_2(SO_4)_3} = \mathbf{20 L/d}$$

### 2.3.5.2 CAL (OXIDO DE CALCIO)

$$V_{Cal} = \frac{Dosis * V_{agua\ tratar}}{C_{Cal}}$$

**Ec. 2.3.5.2-1**

$$V_{Cal} = \frac{600ppm * 10m^3}{1000000 ppm}$$

$$V_{Cal} = 0.006 m^3/d$$

$$V_{Cal} = \mathbf{6 L/d}$$

## 2.4 RESULTADOS

El caudal de agua residual producida en la planta de lácteos Lactogal que se tratara es de aproximadamente 10 m<sup>3</sup> por día. El tratamiento será de tipo Batch, es decir que la primera depuración se ejecutara con el agua generada en las 4 primeras horas de la jornada y un segundo Batch con el agua recogida en el resto de la jornada de trabajo. Esto es factible debido a que la industria no opera las 24 horas del día y la jornada de trabajo es de 8 horas.

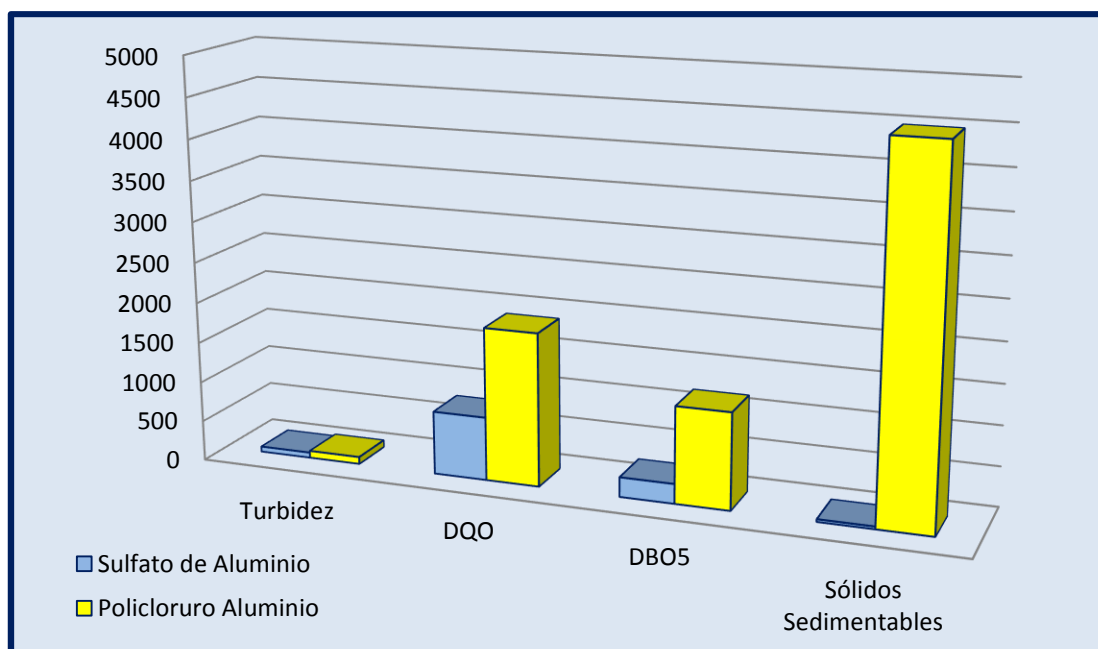
Los parámetros más importantes considerados antes y después del tratamiento para este tipo de efluente fueron los tabulados a continuación.

**Tabla 2 -17: Valores Comparativos de los parámetros antes y después del Tratamiento**

Determinaciones	Unidades	Resultados		
		Antes del Tratamiento	Después del Tratamiento	
		Sin Químicos	Con PAC y Floculante	Con Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> y Cal
<b>pH</b>	pH	5.56	7.32	6.37
<b>Turbidez</b>	UFT	836	88	65
<b>DQO</b>	mg/L	7333	1900	790
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	4260	1200	245
<b>Sólidos sedimentables</b>	mg/L	11747	4489	32

Fuente: DEPEC, Laboratorio de Análisis Técnicos, AqLab

**Grafico 8. Comparación del efecto causado por los Coagulantes**



En el grafico 8 se observa de manera clara la diferencia del efecto causado por cada una de las sustancias químicas, siendo la más efectiva la acción del Sulfato de Aluminio que se refleja en los valores obtenidos.

## 2.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el procesamiento de los productos lácteos la industria Lactogal descarga un caudal promedio de 0.3 L/s correspondiente a una generación de aproximadamente 10 m<sup>3</sup> de agua residual al final de la jornada de trabajo, si se toma en cuenta el factor de Mayorización.

La caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual, indico que todos los parámetros tomados en consideración resultaron estar fuera de las especificaciones establecidas en la ley de legislación ambiental (TULAS), en estas condiciones puede llegar a contaminar a las fuentes de agua naturales provenientes del subsuelo existentes en el lugar donde se ubica la planta y sus alrededores.

Los valores alcanzados luego del tratamiento con Policloruro de aluminio y floculante (Poliacrilamida), disminuyeron en relación a los obtenidos antes del tratamiento en el agua residual cruda, pero no lo suficiente como para situarse dentro de los rangos admisibles, como si se logró al tratar el agua con Sulfato de Aluminio y Cal, por lo que este último fue el tratamiento más óptimo para este tipo de efluente. La dosis adecuada para obtener valores bajos de los parámetros considerados como la turbidez, DBO, DQO y solidos fue con 2000 ppm de sulfato de aluminio y 600 ppm de cal, que corresponde a un consumo de 20 L y 6L por día respectivamente. El valor de pH al cual se obtuvo una formación de floculos de Sulfato de Aluminio con características que permitió la sedimentación de los mismos fue de 7.2, con otros valores de pH formaron floculos pequeños o simplemente no se formaron. El tiempo de sedimentación de los lodos fue de aproximadamente 35 minutos. Esto lo podemos visualizar mejor en las tablas anotadas anteriormente.

# **CAPITULO III**

## **DIMENSIONAMIENTO**

## CAPITULO III

### 3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.

#### 3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Luego de haber realizado un reconocimiento y un diagnóstico actual de la planta y conforme a los resultados obtenidos en las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua residual, se visualizó la necesidad de dar un tratamiento al agua generada como desecho en la planta de lácteos Lactogal, previo a la descarga directa al sistema de alcantarillado público o al ambiente en general. Para lograr esto el sistema de depuración diseñado debe tener la capacidad de disminuir el valor de los parámetros tales como: DBO, DQO, Turbidez y microorganismos patógenos.

#### 3.2 CÁLCULOS DE INGENIERÍA

##### 3.2.1 CAUDAL DE DISEÑO

$$Q = \frac{V}{t}$$
$$Q = \frac{9.2m^3}{8 h} \times \frac{24 h}{d}$$
$$Q = 27.6 \frac{m^3}{d}$$

Luego para determinar el caudal de diseño se emplea un factor de Mayorización, que para este caso utilizaremos el 20%. Así tenemos:

$$Q_D = Q + FM$$

$$Q_D = 27.6 + (27.6 * 0.2)$$

$$Q_D = 33.12 \frac{m^3}{d}$$

Donde:

$$Q_D = \text{Caudal de diseño}$$

### 3.2.2 CÁLCULOS PARA EL CANAL

El diseño de un canal es necesario ya que en él será dispuesta la rejilla.

#### 3.2.2.1 ÁREA TRANSVERSAL DEL CANAL

Las dimensiones que tendrá el canal son las siguientes:

$$b = 0.4 \text{ m}$$

$$h_c = 0.35 \text{ m}$$

$$A_{tc} = b \times h_c$$

$$A_{tc} = 0.4 \times 0.35$$

$$A_{tc} = 0.14 \text{ m}^2$$

#### 3.2.2.2 RADIO HIDRÁULICO

Luego para el cálculo del radio hidráulico empleamos la ecuación 4.

$$R_{HC} = \frac{b \times h_c}{b + 2h_c}$$

$$R_{HC} = \frac{0.4 \times 0.35}{0.4 + 2(0.35)}$$

$$R_{HC} = 0.127 \text{ m}$$

### 3.2.3 CÁLCULOS PARA LAS REJILLAS

En el diseño de rejillas que formaran parte del sistema de tratamiento, se utilizaran los siguientes datos:

$$Q_D = 1.37 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{ancho} = 0.4 \text{ m}$$

$$\text{Separacion entre barras} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Pendiente con relacion a la vertical} = 45^\circ$$

$$\text{Espesor de la barra} = 5 \text{ mm}$$

#### 3.2.3.1 VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN A LA REJILLA

Para calcular el área entre barras primero es necesario encontrar la velocidad con la que el fluido se aproxima a la misma.

$$V_{ap} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$V_{ap} = \frac{1}{0.013} \times (0.127)^{2/3} \times (0.00057)^{1/2}$$

$$V_{ap} = 0.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3.2.3.2 ÁREA ENTRE BARRAS DE LA REJILLA

Una vez obtenida la velocidad de aproximación y con el caudal de agua a tratar tenemos:

$$A_p = \frac{Q}{V_{ap}}$$

$$A_p = \frac{0.00038}{0.46}$$

$$A_p = \mathbf{0.0008m^2}$$

### 3.2.3.3 LONGITUD SUMERGIDA DE LA REJILLA EN EL AGUA RESIDUAL

Par el cálculo de la longitud sumergida primeramente se debe determinar el nivel máximo de agua mediante la ecuación

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{Q}{V_{ap} \times b}$$

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{0.00038}{0.46 \times 0.4}$$

$$n_{m\acute{a}x} = \mathbf{0.002 m}$$

Ahora si podemos calcular la longitud sumergida de la rejilla

$$L_{sg} = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\varphi}$$

$$L_{sg} = \frac{0.002}{\text{sen}45}$$

$$L_{sg} = \mathbf{0.0028 m}$$



### 3.2.3.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE BARRAS EN LA REJILLA

$$N_b^\circ = \frac{B - W}{W - e}$$

$$N_b^\circ = \frac{0.4 - 0.020}{0.020 - 0.005}$$

$$N_b^\circ = 25 \text{ barras}$$

### 3.2.3.5 PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LA REJA

$$h_l = \frac{1}{0.7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

$$h_l = \frac{1}{0.7} \left( \frac{0.6^2 - 0.46^2}{2(9.8)} \right)$$

$$h_l = 0.011m$$

## 3.2.4 CÁLCULOS PARA EL HOMOGENIZADOR

### 3.2.4.1 ÁREA DEL TANQUE HOMOGENIZADOR

Al realizar el tratamiento en dos partes, es decir con el agua recolectada en las primeras 4 horas de la jornada y luego con el resto al final de la jornada se tiene.

$$A_H = \frac{Q \times t}{h_H}$$

$$A_H = \frac{0.00038 \times 14400}{2.0}$$

$$A_H = 2.7m^2$$

### 3.2.4.2 VOLUMEN DEL HOMOGENIZADOR

$$V_H = \pi r^2 \times h_H$$

$$V_H = \pi(0.93)^2 \times 2.0$$

$$V_H = 5.4m^3$$

### 3.2.5 MEZCLADO

#### 3.2.5.1 ENERGÍA DISIPADA EN EL MEZCLADO

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

$$P = (51)^2 \times 1.064 * 10^{-3} \times 5.4$$

$$P = 15 \text{ KW}$$

#### 3.2.5.2 GRADIENTE DE VELOCIDAD DE UN FLUIDO

La velocidad a la cual rotara la paleta en el mezclado será de 70 rpm, tanto en el tanque Homogenizador como en la etapa de coagulación-floculación que tiene lugar en el sedimentador. La gradiente de velocidad se lo puede hallar con la siguiente ecuación:

$$G = 0,25 \times n^{1,25}$$

$$G = 0,25 \times (70)^{1,25}$$

$$G = 50.6 \text{ s}^{-1} \approx 51 \text{ s}^{-1}$$

Dónde:

$G = \text{gradiente de velocidad medio, (1/s)}$ .

$n = \text{velocidad de rotacion (rpm)}$ .

### 3.2.6 CÁLCULOS PARA EL TANQUE DE AIREACIÓN

En esta etapa se tratara un volumen de aproximadamente 10 m<sup>3</sup>/día de agua residual tomando en cuenta el factor de Mayorización, para fines de cálculo se tomaran datos registrados en las tablas (1-9, 1-10, 2-10).

**Datos**, Asumiremos que:

SSV del afluyente son despreciables

$$SSVLM (X) = 1.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$\frac{SSVLM}{SSLM} = 0.8$$

$$SSLM = 2 \text{ Kg/m}^3$$

$$\theta_{rc} = 1 \text{ día}$$

$$Y = 0.6(\text{Kg}_{\text{celulas producidas}} / \text{Kg}_{\text{materia organica eliminada}})$$

$$K_d = 0.06 \text{ d}^{-1}$$

$$S_0 = 4.26 \text{ Kg/m}^3$$

$$S = 0.245 \text{ Kg/m}^3$$

### 3.2.6.1 EFICIENCIA

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

$$E = \frac{(4.26 - 0.245)}{4.26} \times 100$$

$$E = 94\%$$

### 3.2.6.2 VOLUMEN DEL REACTOR

$$V = \frac{\theta_{rc} \times Q \times Y \times (S_0 - S)}{X(1 + K_d \theta_{rc})}$$

$$V = \frac{1 \times 10 \times 0.6 \times (4.26 - 0.245)}{1.6(1 + 0.06 \times 1)}$$

$$V = 14 \text{ m}^3$$

Entonces el tanque de aireación tendrá una geometría rectangular con las siguientes dimensiones: 3 m de ancho y 1.5 m de profundidad más adelante se determinara el largo para este tanque.

### 3.2.6.3 TIEMPO DE RETENCIÓN

$$T_{RH} = \frac{V_a}{Q}$$

$$T_{RH} = \frac{14}{10}$$

$$T_{RH} = 1.4 \text{ d}$$

### 3.2.6.4 CRITERIO DE CARGA (RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS)

$$F/M = \frac{(S_o)}{T_{RH}X}$$

$$F/M = \frac{4.26}{1.4 \times 1.6}$$

$$F/M = 1.9 \text{ d}^{-1}$$

### 3.2.6.5 PRODUCCIÓN DE LODO

$$P_X = Y_{obs}Q(S_o - S)(10^3 \text{ g/Kg})^{-1}$$

$$P_X = (0.56)(10)(4260 - 245)(10^3 \text{ g/Kg})^{-1}$$

$$P_X = 22.5 \text{ Kg/d}$$

Pero antes de calcular la producción de lodo se debe encontrar la producción observada de la siguiente manera:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d\theta_c}$$

$$Y_{obs} = \frac{0.6}{1 + (0.06)(1)}$$

$$Y_{obs} = 0.56 \text{ Kg/Kg}$$

### 3.2.6.6 REQUERIMIENTO DE OXIGENO

$$WO_2 = [a(S_0 - S)Q + b * X * V_a]$$

$$WO_2 = [0.63(4260 - 245)10 + 0.28 * 1.6 * 14]$$

$$WO_2 = 25300.8 \frac{gO_2}{d}$$

$$WO_2 = 25.3 \frac{KgO_2}{d}$$

### 3.2.7 AIREACIÓN A TRAVÉS DE UN DIFUSOR

#### 3.2.7.1 CORRELACIÓN DE $C_{sw}$

$$C'_{sw} = C_{sw} * \frac{P - P_v}{760 - P_v}$$

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

$$C'_{sw} = 6 \text{ mg/L}$$

#### 3.2.7.2 TRANSFERENCIA DE OXIGENO

Para fines de cálculo asumimos los valores descritos en el ítem 1.5.6.2.1:

$$N_0 = 0.35 \text{ (KgO}_2\text{/KW*h)}$$

$$\alpha = 0.8$$

$$\beta = 0.98$$

$$C_L = 2.0 \text{ mg/L}$$

$$C_{ST} = 9.17 \text{ mg/L}$$

$$C'_{sw} = 6 \text{ mg/L}$$

$$T = 18 \text{ °C}$$

$$N = N_o * \left[ \alpha \left( \frac{\beta * C'_{sw} - C_L}{C_{ST}} \right) * (1.024^{(T-20)}) \right]$$

$$N = 0.35 * \left[ 0.8 \left( \frac{0.98 * 6 - 2}{9.17} \right) * (1.024^{(18-20)}) \right]$$

$$N = 0.11 \text{KgO}_2/\text{Kw} * \text{h}$$

### 3.2.7.3 CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO

Para esto consideraremos un 23,2% de oxígeno presente en el aire, entonces y una eficiencia de difusión del 10%:

$$A_{Req} = \frac{Q * DBO}{23.2\% * E * \rho_{aire}}$$

$$A_{Req} = \frac{10 * 4.26}{0.232 * 0.1 * 1.2}$$

$$A_{Req} = 1530 \text{ m}^3/\text{d}$$

### 3.2.7.4 POTENCIA REQUERIDA

La aireación se dará a través de difusores, para lo cual se requiere determinar la potencia necesaria con ayuda de la siguiente expresión.

$$P_T = \frac{W O_2}{24 * N} * 10^{-3}$$

$$P_T = \frac{25300.8}{24 * 0.11} * 10^{-3}$$

$$P_T = 9.5 \text{ KW}$$

### 3.2.8 CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR

#### 3.2.8.1 ÁREA DEL SEDIMENTADOR

$$A = \frac{Q}{C_{sp}}$$

$$A = \frac{33.12}{14}$$

$$A = 2.4 \text{ m}^2$$

#### 3.2.8.2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL SEDIMENTADOR

$$\varphi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{4(2.4)}{\pi}}$$

$$\varphi = 1.74 \text{ m}$$

#### 3.2.8.3 CÁLCULO DEL RADIO DEL SEDIMENTADOR

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

$$r = \frac{1.75 \text{ m}}{2}$$

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

#### 3.2.8.4 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PARTE CILINDRICA DEL SEDIMENTADOR

$$V_{cilindrica\ S} = A \times h_{1S}$$

$$V_{cilindrica\ S} = 2.4 \times 2.0$$

$$V_{cilindrica\ S} = 4.8 \text{ m}^3$$



### 3.2.8.5 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PARTE CÓNICA DEL SEDIMENTADOR

$\alpha = 20^\circ$  con la horizontal

$r = 0.87$

Para los valores de  $\alpha$  y  $r$  tenemos una  $h_{2S} = 0.3m$ , entonces:

$$V_{Conica\ S} = \frac{\pi \times r^2 \times h_{2S}}{3}$$

$$V_{Conica\ S} = \frac{\pi \times (0.87)^2 \times 0.3}{3}$$

$$V_{Conica\ S} = 0.24m^3$$

### 3.2.8.6 VOLUMEN TOTAL DEL SEDIMENTADOR

$$V_T = V_{Cilindica\ S} + V_{Conica\ S}$$

$$V_T = 4.8 + 0.24m^3$$

$$V_T = 5.04\ m^3$$

### 3.2.8.7 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

$$T_{RH} = \frac{V_S}{Q}$$

$$T_{RH} = \frac{5}{1.37}$$

$$T_{RH} = 3.6\ h$$

### 3.2.9 CÁLCULOS PARA EL FILTRO

#### 3.2.9.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN

Para obtener el volumen asumiremos las longitudes de ancho, largo y altura del filtro de esta forma tendremos:

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

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

$$h_F = 1.5 \text{ m}$$

Al tener el filtro una forma rectangular el volumen sería,

$$V_F = a \times l \times h_F$$

$$V_F = 2 \times 3 \times 1.5$$

$$V_F = 9 \text{ m}^3$$

#### 3.2.9.2 TIEMPO DE RETENCIÓN

$$T_{RH} = \frac{V_F}{Q}$$

$$T_{RH} = \frac{9 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3/d}$$

$$T_{RH} = 0.9 \text{ d} \approx 1 \text{ d}$$

### 3.2.9.3 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA

La carga orgánica volumétrica se encuentra empleando la siguiente ecuación:

$$L = \frac{S_0}{T_{RH}}$$

$$L = \frac{4.26 (Kg/m^3)}{1 (d)}$$

$$L = 4.26 Kg/m^3 \cdot d$$

### 3.3 RESUMEN DE LOS EQUIPOS DISEÑADOS QUE FORMAN PARTE DEL SISTEMA

A continuación se encuentran tabulados los valores de cada uno de los parámetros tomados en cuenta para el dimensionamiento de cada uno de los equipos que formaran parte del sistema de tratamiento del agua residual que genera y descarga la industria productora de lácteos Lactogal Cía. Ltda.

#### 3.3.1 CANAL

Tabla 3 -1: Resumen del Dimensionamiento del Canal

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Ancho	b	m	0.40
Altura útil	$h_c$	m	0.35
Borde libre	$B_{libre}$	m	0.15
Altura total	$H_T$	m	0.50
Radio hidráulico	$R_{HC}$	m	0.13
Área transversal	$A_{tc}$	m <sup>2</sup>	0.14

**Fuente:** Mauricio Guaña.

### 3.3.2 REJILLAS

**Tabla 3 - 2: Resumen del Dimensionamiento del Sistema de Rejillas**

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	$Q_D$	m <sup>3</sup> /h	1.37
Ancho	B	m	0.4
Separación entre barras	W	mm	20
Espesor de las barras	$e$	mm	5
Numero de barras	$N_b^o$	unidades	25
Perdida de carga	$h_l$	m	0.011
Velocidad de aproximación	$V_{ap}$	m/s	0.46
Gradiente hidráulico	$S$	m/m	0.00057
Área de paso entre barras	$A_p$	m <sup>2</sup>	0.00078
Longitud de rejilla sumergida	$L_{sg}$	m	0.0028
Nivel máximo	$n_{máx}$	m	0.002
Angulo de inclinación de la rejilla	$\varphi$	grados	45

**Fuente:** Mauricio Guaña.

### 3.3.3 TANQUE HOMOGENIZADOR

**Tabla 3 - 3: Resumen del Dimensionamiento del tanque Homogenizador**

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Geometría: Circular			
Caudal de diseño	$Q_D$	m <sup>3</sup> /h	1.37
Radio	r	m	0.93
Diámetro	$\varphi$	m	1.85
Altura útil	$H_u$	m	2.0
Borde libre	$B_{libre}$	m	0.3
Altura total del Homogenizador	$h_H$	m	2.3
Área del tanque Homogenizador	$A_H$	m <sup>2</sup>	2.7
Volumen del Homogenizador	$V_H$	m <sup>3</sup>	5.4
Tiempo de retención	t	h	4

**Fuente:** Mauricio Guaña.

### 3.3.4 MEZCLADO

**Tabla 3-4: Resumen del Mezclado**

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Potencia	P	KW	15
Gradiente de velocidad del fluido	G	$s^{-1}$	51
Velocidad de rotación	n	rpm	70

**Fuente:** Mauricio Guaña.

### 3.3.5 TANQUE DE AIREACIÓN

**Tabla 3-5: Resumen del dimensionamiento del Tanque de Aireación**

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Geometría: Rectangular			
Caudal de diseño	$Q_D$	$m^3/d$	10
Ancho	$A_a$	m	3
Largo	$L_a$	m	3.1
Profundidad	$P_a$	m	1.5
Borde libre	B libre	m	0.3
Altura total del tanque de aireación	$H_T$	m	1.8
Área del tanque de aireación	A	m	9.3
Volumen del tanque de aireación	$V_a$	$m^3$	14
Eficiencia	E	%	94
Tiempo de retención celular	$\theta_c$	día	1
Tiempo de retención hidráulico	$T_{RH}$	día	1.4
Relación alimento/microorganismo	F/M	$d^{-1}$	1.9
Producción de lodo	$P_X$	Kg/d	22.5
Producción observada	$Y_{obs}$	Kg/Kg	0.56
Requerimiento de oxígeno	$WO_2$	$KgO_2/d$	25.3
Transferencia de oxígeno	N	$KgO_2/KW * h$	0.11
Aire requerido	$A_{Req}$	$Kg/d$	109
Potencia requerida	$P_W$	KW	9.5

**Fuente:** Mauricio Guaña.

### 3.3.6 SEDIMENTADOR

**Tabla 3 - 6: Resumen del Dimensionamiento del Sedimentador**

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Geometría: Circular			
Caudal de diseño	$Q_D$	m <sup>3</sup> /d	10
Diámetro	$\varphi$	m	1.74
Radio	$r$	m	0.87
Altura útil del cilindro	$h_{1S}$	m	2.00
Borde libre	$B_{\text{libre}}$	m	0.30
Altura total del cilindro	$H_T$	m	2.30
Volumen cilíndrico del sedimentador	$V_{\text{cilindrica } S}$	m <sup>3</sup>	4.80
Área del sedimentador	$A$	m <sup>2</sup>	2.40
Pendiente de la parte cónica con la horizontal	$\alpha$	grados	20
Altura del cono	$h_{2S}$	m	0.30
Volumen del cono del sedimentador	$V_{\text{conica } S}$	m <sup>3</sup>	0.24
Volumen total del sedimentador	$V_T$	m <sup>3</sup>	5.04
Tiempo de retención hidráulica	$T_{RH}$	h	3.60

**Fuente:** Mauricio Guaña.

### 3.3.7 FILTRO

**Tabla 3-7: Resumen del Dimensionamiento del Filtro**

Parámetro	Simbología	Unidad	Resultado
Geometría: Rectangular			
Número de unidades	$N_{\text{UNIDADES}}$	Unidad	1
Caudal a tratar	$Q_D$	m <sup>3</sup> /d	10.0
Ancho	$a$	m	2.0
Largo	$l$	m	3.0
Altura útil del filtro	$h_F$	m	1.5
Borde libre del filtro	$B_{\text{libre}}$	m	0.3
Altura total del filtro	$h_T$	m	1.8
Área superficial del filtro	$A$	m <sup>2</sup>	6.0

Volumen requerido del filtro	$V_F$	$m^3$	9.0
Tiempo de retención	$T_{RH}$	días	1
Carga volumétrica	$L$	$Kg/m^3 \cdot d$	4.26

**Fuente:** Mauricio Guaña.

**Tabla 3 - 8: Material filtrante para el Filtro**

Material Filtrante	Símbolo	Unidad	Valor
Capa de Arena de 0.5 mm	B	cm	50
Capa de Gravilla de 1/8 pulgada	C	cm	40
Capa de Grava de 1/2 pulgada	D	cm	20

**Fuente:** <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

**Elaborado por:** Mauricio Guaña.

### 3.4 PROPUESTA

En base al estudio realizado al agua residual generada en la planta de lácteos Lactogal, se evidencio que esta presenta cantidades considerables de contaminantes producto del procesamiento de lácteos, limpieza de equipos e instalaciones donde se utilizan sustancias químicas como los detergentes, ácido nítrico, sosa.

La naturaleza de los contaminantes que se encuentran en mayor cantidad son principalmente de tipo orgánico, esto se ve reflejado por su elevado valor en la DBO<sub>5</sub>, DQO, Turbidez, sólidos en general.

Además se encontró trozos de cerámica, guantes, plásticos, telas entre otros escombros, es por esta razón que se ha dimensionado equipos que puedan contrarrestar la contaminación producida en este tipo de agua y se logre bajar los parámetros hasta los límites permisibles para la descarga hacia un cuerpo receptor. El sistema de tratamiento será descrito a continuación.

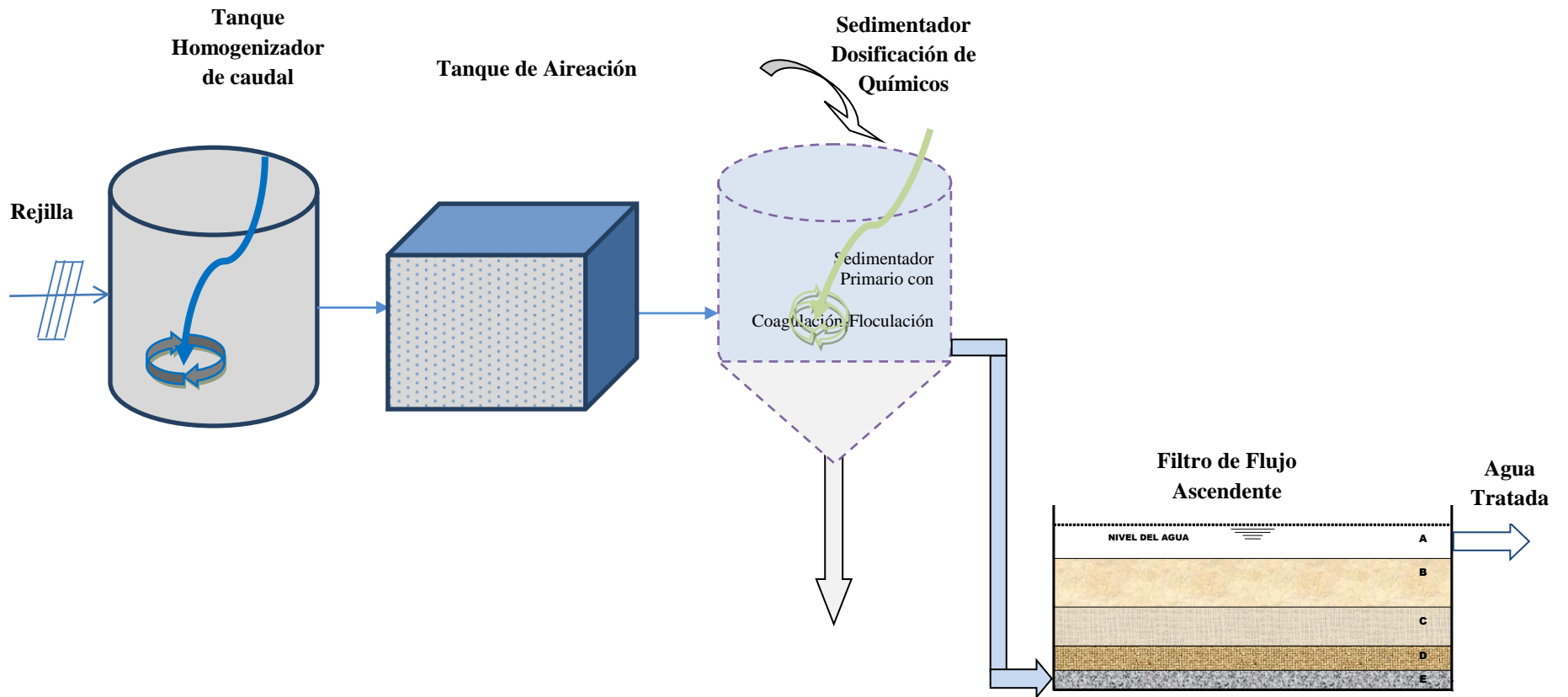
El agua de desecho de la industria láctea en mención, inicialmente será sometida a un Pretratamiento mediante la implementación de un sistema de rejillas dispuestas en un canal que conducirá el agua hacia un tanque con una capacidad de 6 m<sup>3</sup>, que cumplirá funciones de almacenamiento y homogenización, este proceso ayudara a retener los materiales gruesos mencionados anteriormente y tener un fluido con las mismas características en todo el tanque, además permite mantener un caudal constante para continuar con las siguientes etapas del tratamiento.

Posterior a esto el agua entrara en un tanque en donde se suministrara aire por medio de una tubería perforada dispuesta en el fondo del tanque en forma de espiral, mediante un compresor para disminuir la materia orgánica. Una vez aireada el agua pasara aun sedimentador con capacidad de 5 m<sup>3</sup> en donde inicialmente tendrá lugar el asentamiento de los sólidos generados en el proceso de aireación para luego si agregar las sustancias químicas con una dosis de 2000 ppm de sulfato de aluminio y 600 ppm de cal, cantidad que se obtuvo en los ensayos de jarras, este proceso se lo realizara a 70 rpm y con un tiempo de retención de 4h. Las etapas de aireación y el proceso de coagulación-floculación simularan un sistema de lodos activados, esto es posible hacerlo ya que el tratamiento se lo efectuará en 2 Batch.

Finalmente el agua proveniente del clarificador pasara por un filtro de flujo ascensional que contiene un lecho filtrante de arena y grava, esto si se requiere disminuir el valor de los sólidos que no han podido ser eliminados en las etapas anteriores.



### 3.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL



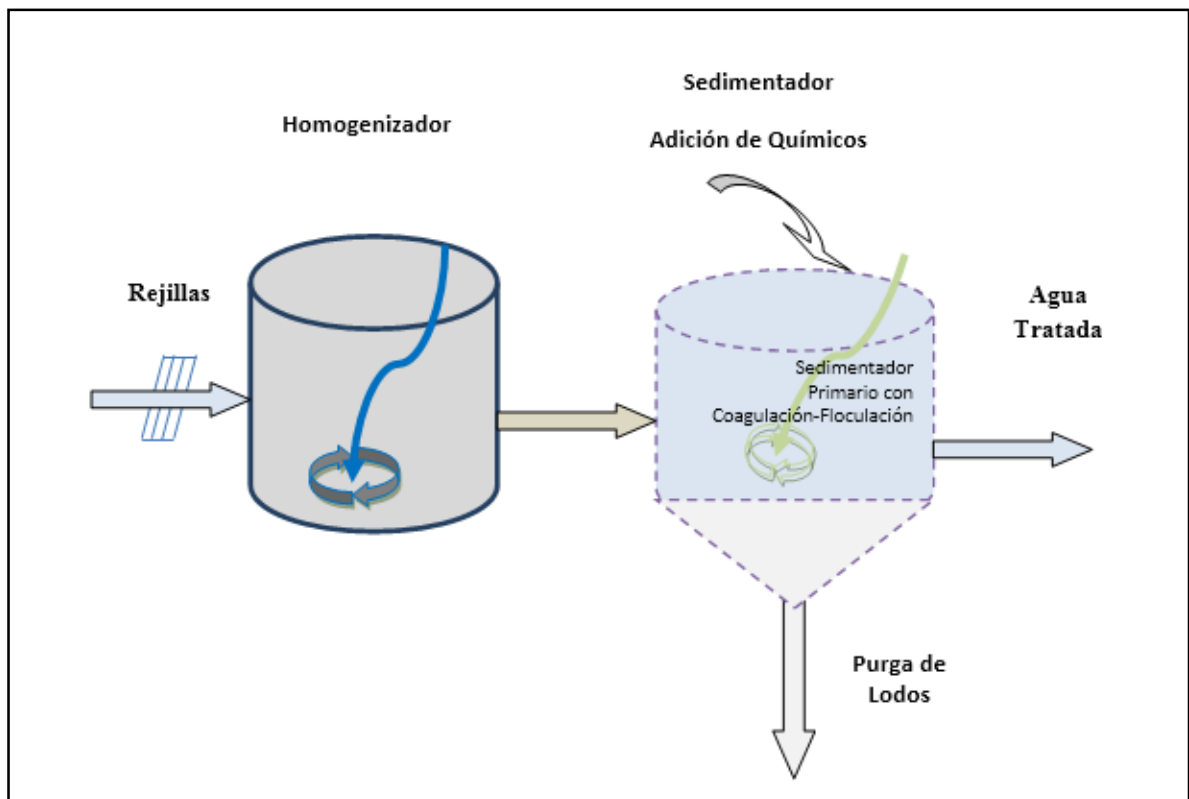
### 3.4.2 COSTOS APROXIMADOS DE LA PROPUESTA

<b>REJILLAS</b>		
<b>UNIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>COSTO (\$)</b>
1	Rejillas manuales con 25 barras de acero inoxidable	80
<b>TANQUE HOMOGENIZADOR</b>		
8	Planchas de acero inoxidable 4x8 304 de 3mm	4000
1	Paleta de agitación	300
<b>TANQUE DE AIREACION</b>		
1	Tanque de aireación de hormigón 4.5 m <sup>2</sup>	2000
1	Compresor industrial de aire de 10 HP	3000
<b>SEDIMENTADOR</b>		
1	Sedimentador circular de hormigón de 2.4 m <sup>2</sup>	1000
<b>FILTRO</b>		
1	Filtro rectangular de hormigón 6m <sup>2</sup>	2000
<b>TOTAL</b>		<b>12380</b>
<b>INSUMOS QUIMICOS</b>		
20 kg/día	Sulfato de sodio diarios	16
6 Kg/día	Cal (oxido de calcio)	1.2
<b>TOTAL AL DIA</b>		<b>17.2</b>
<b>TOTAL AL MES</b>		<b>516</b>

### 3.5 ALTERNATIVA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO

Debido a que los costos aproximados para la implementación del sistema de tratamiento propuesto son elevados, se ha buscado una alternativa con el fin de reducir los costos manteniendo la calidad del agua a la salida del nuevo sistema. Esto es posible debido a que los resultados obtenidos después del tratamiento se dieron en la etapa de coagulación-floculación que tiene lugar en el sedimentador. Permitiendo eliminar dos etapas en el sistema de tratamiento del agua residual propuesto inicialmente, quedando el diagrama de la nueva alternativa como se indica en la figura siguiente.

**Figura 10. Alternativa al sistema de tratamiento Propuesto**



**Elaborado por:** Mauricio Guaña.

### 3.5.1 COSTOS APROXIMADOS DE LA ALTERNATIVA

<b>REJILLAS</b>		
<b>UNIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>COSTO (\$)</b>
1	Rejillas manuales con 25 barras de acero inoxidable	80
<b>TANQUE HOMOGENIZADOR</b>		
8	Planchas de acero inoxidable 4x8 304 de 3mm	4000
1	Paleta de agitación	300
<b>SEDIMENTADOR</b>		
1	Sedimentador circular de hormigón de 2.4 m <sup>2</sup>	1000
1	Paleta de agitación	300
	Costos adicionales	1000
<b>TOTAL</b>		<b>6680</b>
<b>INSUMOS QUIMICOS</b>		
20 kg/día	Sulfato de sodio diarios	16
6 Kg/día	Cal (oxido de calcio)	1.2
<b>TOTAL AL DIA</b>		<b>17.2</b>
<b>TOTAL AL MES</b>		<b>516</b>

### 3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los equipos que forman parte del sistema de tratamiento del agua residual producida por la planta de lácteos Lactogal, están diseñados y dimensionados para contrarrestar las sustancias contaminantes, principalmente el material orgánico contenido en dicho efluente, reflejado como se mencionó anteriormente en los valores elevados de los parámetros considerados para el diseño.

Algunos de los parámetros determinados en el dimensionamiento de los equipos no cumplen con lo especificado en las tablas descritas en este trabajo, y que fueron tomadas de textos bibliográficos que están dirigidos al tratamiento de un volumen mayor de agua residual. Es por esta razón que ciertos valores fueron asumidos bajo un criterio analítico y personal.

A través del sistema de tratamiento diseñado se lograra eliminar los sólidos gruesos reteniéndolos en el sistema de rejillas, en el tanque Homogenizador se conseguirá obtener un flujo constante y con las mismas características que permita seguir con las etapas posteriores como la aireación que tendrá lugar en un tanque previsto de un sistema de difusores, por donde se suministrara el aire con ayuda de un compresor, este equipo simulara ser el reactor biológico de un sistema de lodos activos, para complementar este proceso se diseñó un sedimentador donde se dejara depositar el lodo generado en el tanque de aireación para luego dosificar los químicos dando lugar al proceso de coagulación-floculación.

Finalmente el agua clarificada pasa por un filtro de flujo ascendente donde será retenida la materia suspendida que no se ha eliminado en las etapas anteriores del proceso. Este sistema en conjunto permitirá obtener un efluente clarificado con características aceptables para descargar al ambiente.

Con el tratamiento dado al agua se obtiene valores bajos de DBO, DQO, Turbidez, esto ratifica lo dicho en el párrafo anterior. Sin embargo el costo para implementar este sistema es algo elevado, motivo por el cual se ha propuesto una alternativa al sistema inicialmente planteado, que permite reducir los costos y a su vez mantiene la calidad del agua a la salida del mismo.

Como es de esperarse en términos de eficiencia el primero presentara un mayor valor de remoción de la materia contaminante por poseer en el sistema una etapa de aireación donde disminuirá parte del material orgánico presente en el agua residual y por incluir un filtro al final del tratamiento que retendrá los sólidos en suspensión que no se ha eliminado en el sedimentador.

Sin embargo la alternativa planteada permite obtener un fluido con parámetros bajos en comparación a los determinados en la caracterización inicial, con una remoción de la materia orgánica del 90% aproximadamente.

# **CAPITULO IV**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# CAPITULO IV

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Con la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual producida en la industria láctea, se comprobó que los valores de los parámetros como la DBO<sub>5</sub>, DQO, turbidez, sólidos totales entre otros están fuera de los límites especificados en la ley de legislación ambiental (TULAS), para la descarga directa al ambiente o al sistema de alcantarillado.
- En base a los resultados de los análisis realizados al agua, se diseñó el sistema de depuración, iniciando con un Pretratamiento seguido de un proceso de aireación y una etapa de coagulación-floculación, estas dos últimas fases simularan el sistema de lodos activos y finalmente una filtración de tipo flujo ascendente.
- El método de muestreo adecuado para el agua generada en este tipo de industria es el compuesto, debido a la gran variabilidad tanto en el caudal cuanto en la concentración de sus contaminantes.
- Tomando en cuenta las condiciones actuales de la planta, así como los parámetros de caudal y sustancias contaminantes fue posible dimensionar los equipos que constituyen el sistema de tratamiento, siendo estos: un sistema de rejillas para retener sólidos gruesos, un tanque Homogenizador de capacidad 6 m<sup>3</sup> que a más de permitir controlar el caudal y la homogeneidad del agua, tendrá función de almacenamiento mientras se trata el primer



Bach, la planta también constara de un tanque donde se suministrará aire a través de un sistema de difusores, un sedimentador con un volumen de 5 m<sup>3</sup> donde se adicionaran los insumos químicos tales como coagulantes y floculantes y un filtro de tipo flujo ascendente.

- Los resultados más satisfactorios se obtuvieron al tratar el agua con sulfato de aluminio y cal, en dosis de 2000 ppm y 600 ppm respectivamente, esto se reflejó en la drástica reducción de parámetros como la DBO que fue de (4260 a 245) mg/L, la DQO de (7333 a 790) mg/L, turbidez de (836 a 65) NTU, con esto aseguramos la descarga al medio ambiente.
- El tratamiento con sulfato de aluminio le da algo de acidez al agua tratada, resultando con un valor de pH de 6.32, pero podemos observar que se encuentra dentro del rango permisible establecido en el TULAS.
- Para retener los sólidos suspendidos es necesario que el agua a travieste por un lecho filtrante y es por esta razón que se dimensiono un filtro de flujo ascendente que contiene capas de arena y grava dispuestas de forma diferente y con distintos espesor.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Siendo este el primer trabajo investigativo se recomienda a la planta de lácteos Lactogal seguir con los estudios referentes a la contaminación generada durante sus procesos de producción, no solo con respecto al efluente que aquí se descarga sino también al resto de contaminantes como son los sólidos y emisiones gaseosas que también son de gran importancia.
  
- El líder de esta industria debe crear conciencia en su personal de los impactos que genera la contaminación al medio ambiente y de la importancia que tiene la conservación de los recursos naturales como el agua, suelo y aire, realizando charlas acerca del tema.
  
- Se debería realizar un estudio de los lodos resultantes del proceso, ya que es factible que estos puedan ser transformados en abono y destinados al sector agrícola por ser ricos en materia orgánica.
  
- Recomendamos a la industria láctea Lactogal Cía. Ltda. La implementación del sistema de tratamiento del agua residual que aquí se genera, con esto se estaría contribuyendo a la reducción de la contaminación y por ende a la conservación del medio ambiente.
  
- Es importante también definir y realizar señalización adecuada de las aéreas de elaboración de los productos lácteos y disponer del espacio físico necesario para la implementación del sistema de tratamiento.

# CAPITULO V

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ARBOLEDA, J.**, Teoría y Práctica de Purificación de Agua., 3ra. ed., Bogotá-Colombia., Editorial Mc. Graw-Hill., 2000., Pp. 160-168.
2. **CRITES-TCHOBANOGLIOUS.**, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones., 2da. ed., Bogotá-Colombia., Editorial Mc Graw-Hill Interamericana., 2000., Pp. 33-67., 300-333.
3. **FAIR-GEYER.**, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales., Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales., Volumen II., 2da. ed., México., Editorial Limusa., 1994., Pp. 76-85.
4. **METCALF-EDDY.**, Ingeniería de Aguas Residuales., Tratamiento, Vertido y Reutilización., 3ra. ed., Madrid-España., Editorial Mc Graw-Hill Interamericana., 1995., Pp. 228., 508-520., 550-680.
5. **RAMALHO, R.**, Tratamiento de Aguas Residuales., 2da. ed., Quebec – Canadá., Editorial Reverte S.A., 1993., Pp. 92, 146, 147.
6. **RIGOLA PEÑA, M.**, Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Procesos y Residuales., 1ra. ed., Barcelona-España., Editorial Marcombo S.A., 2005., Pp. 148.

7. **ROMERO, J.**, Tratamiento de Aguas Residuales., Teoría y Principios de Diseño., 3ra. ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., Ingeniería., 2004., Pp. 129.
8. **ECUADOR., MINISTERIO DEL AMBIENTE.**, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)., 2da. ed., Quito-Ecuador., 2003., Libro VI., Anexo 1, 3, 5., Pp. 4
9. **STHANDAR METHODOS.**, Métodos de Normalización para análisis de Aguas Residuales y Potables., American Public Health Water Pollution., Control Federation., Madrid-España., Conjunto de Leones S. Díaz Dantos S.A., 1992., Pp. 2-59., 4-186.
10. **VALENCIA, J.**, Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de bovinos en el Camal Frigorífico Municipal de Riobamba., Ing. Químico., Facultad de Ciencias., Escuela de Ingeniería Química., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba-Ecuador., **TESIS.**, 2012., Pp. 34

## **INTERNET**

### **11. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**

<http://api.eoi.es/apiv1dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf>  
2013-03-21

### **12. CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

<http://elblogverde.com/contaminacion-del-agua/>  
2013-02-26

**13. DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES**

<http://contenidos.educarex.es/>

2013-06-2013

**14. EL AGUA**

<http://www.monografias.com/trabajos/contamagua/contamagua.shtml>

2013-03-08

**15. FUENTES DE VERTIDOS EN LA INDUSTRIA LÁCTEA**

[http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995\\_02.pdf](http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995_02.pdf)

2013-04-15

**16. LA INDUSTRIA LÁCTEA**

<http://www.prtres.es/data/images/la%20industria%20l%C3%A1ctea-3686e1a542dd936f.pdf>

2013-03-12

**17. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA LÁCTEA**

[http://coli.usal.es/web/demo\\_appcc/demo\\_ejercicio/lac\\_es.pdf](http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf)

2013-03-15

**18. FILTRACIÓN**

<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

2013-07-12

# **ANEXOS**

### Anexo 1. Medición de Caudales

n	Hora	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	7:00	1300	10	0,1
2	7:30	2000	10	0,2
3	8:00	2800	6	0,5
4	8:30	2250	20	0,1
5	9:00	2100	20	0,1
6	9:30	2000	5	0,4
7	10:00	1650	15	0,1
8	10:20	2800	7	0,4
9	10:40	2600	6	0,4
10	11:00	2900	5	0,6
11	11:10	3000	4	0,8
12	11:20	2950	4	0,7
13	11:30	2000	8	0,3
14	11:40	1800	10	0,2
15	11:50	2250	8	0,3
16	12:00	2050	10	0,2
17	12:10	2400	4	0,6
18	12:20	2050	4	0,5
19	12:30	2000	7	0,3
20	12:40	2200	6	0,4
21	12:50	1300	4	0,3
22	13:00	1600	10	0,2
23	13:10	1700	10	0,2
24	13:20	1200	10	0,1
25	13:30	2350	4	0,6
26	13:40	2000	10	0,2
27	13:50	2200	10	0,2
28	14:00	2100	10	0,2
			<b>TOTAL</b>	<b>9,099</b>
			<b>PROMEDIO</b>	<b>0.32</b>

## Anexo 2. Caja de Retención Contaminada



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Edgar Mauricio Guaña Balarezo	TEMA		
Caja de Retención donde se reúnen las sustancias contaminantes.	-Certificar      -Por eliminar -Por Aprobar    -Para informar -Aprobado        -Para calificar		Tratamiento del Agua Residual de la Planta de Lácteos Lactogal Cía. Ltda.	Lamina	Escala
		1			23/01/2014

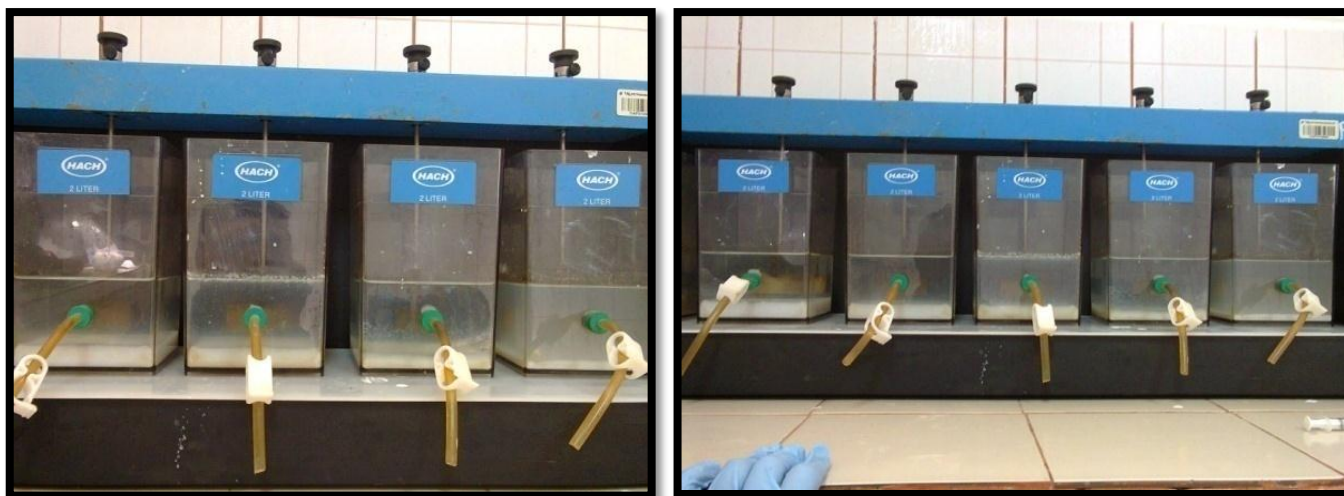


### Anexo 3. Ensayo de Jarras con Policloruro de Aluminio



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
Ensayo de Jarras con Policloruro de Aluminio	-Certificar      -Por eliminar -Por Aprobar    -Para informar -Aprobado        -Para calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Edgar Mauricio Guaña Balarezo	Tratamiento del Agua Residual de la Planta de Lácteos Lactogal Cía. Ltda.		
			Lamina	Escala	Fecha
			2		23/01/2014

#### Anexo 4. Ensayo de Jarras con Sulfato de Aluminio



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
Ensayo de Jarras con Sulfato de Aluminio y Oxido de Calcio	-Certificar      -Por eliminar -Por Aprobar    -Para informar -Aprobado        -Para calificar		FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Mauricio Guaña Balarezo	Tratamiento del Agua Residual de la Planta de Lácteos Lactogal Cía. Ltda.	
		Lamina		Escala	Fecha
		3			23/01/2014

Anexo 5. Análisis Físico-químicos 1 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal

# 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: LACTOGAL CIA. LTDA

Fecha de Análisis: 23 de abril del 2013

Fecha de Entrega de Resultados: 30 de abril del 2013

Tipo de muestras: Agua residual Industria de lácteos

Localidad: Aloag Cantón Mejía Prov. Pichincha

Código; LAT/078-13

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	4.75
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1653
Alcalinidad	mg/L	2320-C		680
Turbiedad	UNT	2130-B		660
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	6270
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	4450
Sólidos Disueltos	mg/L	2530-D		824
Sólidos Totales	mg/L	2530-B	1600	14232

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

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

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



Anexo 6. Análisis Microbiológico 1 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal



Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 03360-260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA**

CLIENTE: Lactogal Cia. Ltda.		CODIGO: 154-13
DIRECCION: Aloag Pichincha		TELEFONO: 0991002988
TIPO DE MUESTRA: Agua residual de fábrica láctea		
FECHA DE RECEPCIÓN: 2013-04-23		
FECHA DE MUESTREO: 2013-04-23		
DETERMINACIONES	METODO USADO	VALOR ENCONTRADO
Coliformes Totales UFC/ml	Siembra vertido en placa	285x10 <sup>3</sup>
Mohos y Levaduras UPC/ml	Siembra en extensión	80 x10 <sup>3</sup>
<b>03 OBSERVACIONES:</b>		
FECHA DE ANALISIS: 2013-04-23		
FECHA DE ENTREGA: 2013-04-30		
<b>RESPONSABLES:</b>		
 Dra. Gina Alvarez R.		 Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

\*La muestra es receptada en el laboratorio

Anexo 7. Análisis Físico-químicos 2 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal

# 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: LACTOGAL CIA. LTDA

Fecha de Análisis: 22 mayo del 2013

Fecha de Entrega de Resultados: 4 de junio del 2013

Tipo de muestras: Agua residual Industria de lácteos

Localidad: Alog Cantón Mejía Prov. Pichincha

Código; LAT/099-13

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.13
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		547
Alcalinidad	mg/L	2320-C		300
Turbiedad	UNT	2130-B		287
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	3640
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	1330
Sólidos Disueltos	mg/L	2530-D		340
Sólidos Totales	mg/L	2530-B	1600	1276.0

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

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

Observaciones:

Atentamente.



The image shows a handwritten signature in blue ink over the word 'ESPOCH'. To the right of the signature is a circular stamp with the text 'LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS' around the perimeter and 'ESPOCH' in the center.

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




Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Anexo 8. Análisis Microbiológico 2 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal



Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 03360-260  
 Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUAS**

CLIENTE: Lactogal Cia Ltda.		CODIGO:99-13
DIRECCION: Aloag		TELEFONO:
TIPO DE MUESTRA: Agua residual de procesos industria Láctea		
FECHA DE RECEPCIÓN: 2013-05-22		
FECHA DE MUESTREO: 2013-05-22		
<b>EXAMEN FISICO</b>		
COLOR: Blanquesina		
OLOR: catractristico a lacteos		
ASPECTO: Semi turbia		
<b>02 DETERMINACIONES</b>	<b>METODO USADO</b>	<b>VALOR ENCONTRADO</b>
Coliformes totales UFC/ 100mL	Membranas Filtrantes	519 x 10 <sup>5</sup>
Mohos y Levaduras UPC / 1mL	Membranas Filtrantes	4 x 10 <sup>5</sup>
Norma INEN1108		
<b>03 OBSERVACIONES:</b>		
FECHA DE ANALISIS: 2013-05-22		
FECHA DE ENTREGA: 2013-06-04		
<b>RESPONSABLES:</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">               Dra. Gina Alvarez R.         </div> <div style="text-align: center;">               Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos         </div> <div style="text-align: center;">               Dra. Fabiola Villa         </div> </div>		

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

\*La muestra es receptada en el laboratorio

## Anexo 9. Análisis Físico-químico y Microbiológico 3 del agua residual de la planta de lácteos Lactogal



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN  
**INFORME DE RESULTADOS**  
**AGUAS**



Informe No: 13-09-12-A-1  
 Fecha: 2013-09-30

<b>Referencia:</b>	<b>OT: 13-09-12-A</b>
<b>Empresa:</b>	<b>LACTOGAL</b>
<b>Atención:</b>	Sr. Mauricio Guaña
<b>Dirección:</b>	Quito
<b>Tipo de ensayos:</b>	Análisis fisicoquímicos
<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>Identificación de la Muestra:</b>	Agua Residual Lactogal 26-08-2013
<b>Descripción de la Muestra:</b>	Agua
<b>Muestra tomada por:</b>	Cliente
<b>Fecha de ingreso de muestra:</b>	2013-09-09
<b>Código de la muestra:</b>	OE-13-09-12-A-1
<b>Fecha de realización de ensayos:</b>	12-09-2013 / 01-10-2013

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)
pH	-	PNE/DPEC/A/SM 4500-H <sup>+</sup> B	4,50	0,07
Alcalinidad Total*	mg CaCO <sub>3</sub> / l	SM 2320 B	0	-
Turbidez*	FAU	APHA 2130 B	1560	-
DBO <sub>5</sub> * <sup>1</sup>	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5210 B	7000	-
DQO	mg/l	PNE/DPEC/A/SM5220 D	12090	-
Sólidos Sedimentables*	ml/l	APHA 2540 F	9	-
Sólidos totales disueltos	mg/l	APHA 2540 F	18807	-
Sólidos Totales*	mg/l	APHA 2540 F	19727	-
Índice de Coliformes Totales* <sup>1</sup>	NMP/100 ml	SM 9221-B	9,2x10 <sup>6</sup>	-
Recuento Mohos* <sup>2</sup>	ufc/100 mL	AOAC 997.02	1,1x10 <sup>2</sup>	-
Recuento de Levaduras* <sup>2</sup>	ufc/100 ml	AOAC 997.02	5,9x10 <sup>3</sup>	-

**Nota.-** Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010  
**Nota.-** Los ensayos marcados (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE  
**Nota.-** Los resultados marcados con (\*<sup>1</sup>) no forman parte del alcance de acreditación del Laboratorio del DPEC y fueron suministrados por LAB. OSP (UCE), que está acreditado para realizar dichas actividades con la acreditación N° OAE LE 1C 04-002  
**Nota.-** Los resultados marcados con (\*<sup>2</sup>) no forman parte del alcance de acreditación del Laboratorio del DPEC y fueron suministrados por LAB. OSP (UCE), que no está acreditado para realizar dichas actividades con la acreditación N° OAE LE 1C 04-002

Realizado Por: JNH

Revisado Por:

*César A. Alvarado C.*  
 Ing. César Alvarado C.  
 RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado Por:

*Gilberto Moya D.*  
 Ing. Gilberto Moya D., Dpl  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@iquce.edu.ec  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-A01-6

Hoja 1 de 1

**Anexo 10. Análisis Físico-químico del agua después del tratamiento con Policloruro de Aluminio**



**INFORME DE ENSAYO N°: 013**  
**Solicitud de Análisis y Servicios: 13 -007**

Francisco de Orellana, 29 de septiembre de 2013

**LACTOGAL CIA. LTDA.**  
 Mauricio Guaña  
 Dirección: Aloag-Pichincha.

**1. Datos generales:**

Responsable toma muestra..... Mauricio Guaña  
 Fecha y hora de toma de muestra ..... 2013 09 18 09:30.  
 Fecha y hora ingreso a AqLab..... 2013 09 20 10:23.  
 Fecha del análisis..... 2013 09 20 al 2013 09 26.  
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Max. 29,0°C T. Min. 21,0°C  
 Código de AqLab..... Identificación de la muestra.  
 a 012..... Agua de descarga, Caja de retención, salida de la planta.

**2. Resultados, Métodos y Referencia:**

Ítem	Análisis solicitado	Unidades	a012	ITE-AQLAB	Método / Norma referencia
1	Alcalinidad total	mg/L CaCO3	321,43	ITE-AQLAB-50	SM 2320 B
2	Conductividad Eléctrica	µS/cm	2230	ITE-AQLAB-02	SM 2510 B
3	Coliformes Fecales	Col/100 ml	16000	ITE-AQLAB-29	SM 9222 D
4	Coliformes Totales	Col/100 ml	290000	ITE-AQLAB-28	SM 9222 B
5	DBO5	mg/L	1200	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D
6	DQO	mg/L	1900	ITE-AQLAB-07	HACH 8000
7	Potencial hidrógeno	~	7,32	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H+ B
8	Sólidos totales	mg/L	5919,04	ITE-AQLAB-03	SM 2540 B
9	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1430	ITE-AQLAB-02	SM 2510 B
10	Turbidez	UFT	88	ITE-AQLAB-22	SM 2130 B, HACH 8237

**3. Responsable del Informe**



  
**Ing. Armando Meléndrez**  
 GERENTE GENERAL

AQLAB Trabaja Acorde a la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006  
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Huncite, Barrio Conhogar tras las oficinas de Mazda - Telf.: (593) 6 2881715

[www.aqlabec.com](http://www.aqlabec.com) - [laboratorio@aqlabec.com](mailto:laboratorio@aqlabec.com)



## Anexo 11. Análisis Físico-químico del agua después del tratamiento con Sulfato de Aluminio



### **INFORME DE ENSAYO N°: 018** **Solicitud de Análisis y Servicios: 13 -010**

Francisco de Orellana, 15 de octubre de 2013

#### **LACTOGAL CIA. LTDA.**

Cliente: Sr. Mauricio Guaña  
Dirección: Aloag-Pichincha.

#### **1. Datos generales:**


Responsable toma muestra..... Mauricio Guaña  
Fecha y hora de toma de muestra ..... 2013 10 04 17:00.  
Fecha y hora ingreso a AqLab..... 2013 10 04 19:00.  
Fecha del análisis..... 2013 10 04 al 2013 10 11.  
Condiciones Ambientales de Análisis. T. Max. 30, 0°C T. Mín. 21, 0°C  
Código de AqLab..... Identificación de la muestra.  
a 016..... Agua Residual tratada, Caja de retención salida de la Planta

#### **2.- Parámetros, resultados y métodos/ referencias:**

Ítem	Análisis solicitado	Unidades	a016	ITE-AQLAB	Método / Norma referencia
1	DBO5	mg/L	245	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D
2	DQO	mg/L	790	ITE-AQLAB-07	HACH 8000
3	Potencial hidrógeno	~	6,37	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H+ B
4	Sólidos sedimentables	mL/L	32	ITE-AQLAB-05	SM 2540 F
5	Turbidez	UFT	65	ITE-AQLAB-22	SM 2130 B, HACH 8237

#### **3. Responsable del Informe:**



  
Ing. Armando Meléndrez  
DIRECTOR TECNICO

AQLAB Trabaja Acorde a la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo.  
Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Huncite, entre las calles Antonio Cabrera y Fray Gregorio de Aluminia, Barrio Conhogar tras las oficinas de Mazda  
[www.aqlabec.com](http://www.aqlabec.com) - [laboratorio@aqalabec.com](mailto:laboratorio@aqalabec.com) Telf.: (593) 6 2881715 Cel. 0991666858

MC2301-01

Página 1 de 1

## Anexo 12. Procedimiento de la adición de Insumos Químicos

# ADICIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS

---

## 0 INTRODUCCIÓN

La adición de insumos químicos en el sedimentador que forma parte del sistema de tratamiento del agua residual generada por la planta de lácteos Lactogal se realizara con el fin de eliminar por un proceso de coagulación-floculación la mayor parte de materia contaminante presente en este fluido. Este paso ayudara a disminuir el valor de los parámetros como la DBO, DQO, turbidez, solidos disueltos y solidos suspendidos, obteniendo un flujo de agua de mejor calidad que la original. Como lo estipula la ley ambiental (TULAS).

## 1 ALCANCE

Este procedimiento se aplicara en el sedimentador que forma parte del sistema de tratamiento en la planta de lácteos Lactogal y está dirigida al personal que labora dentro de esta industria láctea.

## 2 NORMAS DE REFERENCIA

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

## 3 DEFINICIONES

### 3.1 Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es una sal sólida y de color blanco. Generalmente es usada en la industria como floculante en la purificación de agua potable, tratamiento en aguas residuales y en la industria del papel.

### **3.2 Oxido de Calcio**

El óxido de calcio (cal) es un sólido inodoro de blanco a gris. Se emplea en la fabricación de materiales, en el procesamiento de metales, en la agricultura y en el tratamiento de aguas residuales.

### **3.3 Sedimentador**

Los sedimentadores son equipos utilizados para la clarificación del agua, en el cual se logra remover una gran cantidad de sólidos suspendidos por acción de la gravedad, debido a la diferencia de peso entre las partículas suspendidas y el agua.

## **4 RESPONSABLE**

Es responsabilidad del propietario/administrador y personal Operativo de la industria de Lácteos Lactogal, el cumplimiento del presente procedimiento.

## **5 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO**

La adición de los insumos químicos tales como el Sulfato de aluminio y Oxido de calcio (Cal), se realizara 2 veces por día durante la jornada de trabajo aplicando el siguiente procedimiento.

1. Portar los respectivos elementos de protección personal tales como: guantes, mascarilla, gafas, mandil, etc. Para que el trabajo se efectúe con seguridad.
2. Preparar la solución de sulfato de aluminio al 10% pesando 10 Kg del químico y diluyendo en 100 Litros de agua.
3. Luego preparar la solución de cal al 10% pesando 3 Kilogramos de esta sustancia y diluyendo en 30 Litros de agua.

4. El paso 2 y 3 solo servirá para una parte del tratamiento con el agua recogida en las cuatro primeras horas de la jornada de trabajo, esto quiere decir que para el agua generada en las segundas cuatro horas se deberá prepara nuevamente según lo indicado, ya que el tratamiento se lo ejecutara en dos partes.
5. Una vez obtenidas las soluciones y puesto en marcha las paletas que se moverán con velocidad de 70 rpm por 30 minutos, se agregara al sedimentador con mucho cuidado cada una de las sustancias químicas.
6. Luego se dejara en reposo por 2 horas antes de empezar a descargar el agua clarificada.
7. Retirar los lodos y disponerlos de la mejor manera.

# EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

---

## **0 INTRODUCCIÓN**

El suministro y uso de los elementos de protección personal es obligatoria para la ejecución de las diferentes actividades dentro de la planta de lácteos Lactogal y estará dispuesto por el código del trabajo y el reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.

## **1 ALCANCE**

Este procedimiento se aplicará para los trabajadores y empleados de la planta de lácteos Lactogal, incluyendo al personal administrativo y en general aquellos que no tienen contacto directo con los procesos de elaboración.

## **2 NORMAS DE REFERENCIA**

- REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES, CODIGO DEL TRABAJO.
- REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL. RESOLUCION No. 172-I.E.S.S., Capítulo IX , De la ropa de Trabajo y del Equipo de Protección Personal

## **3 DEFINICIONES**

### **3.1 Elemento de Protección Personal:**

Es todo dispositivo de uso personal destinado a preservar la integridad física del trabajador en el ejercicio de sus funciones.

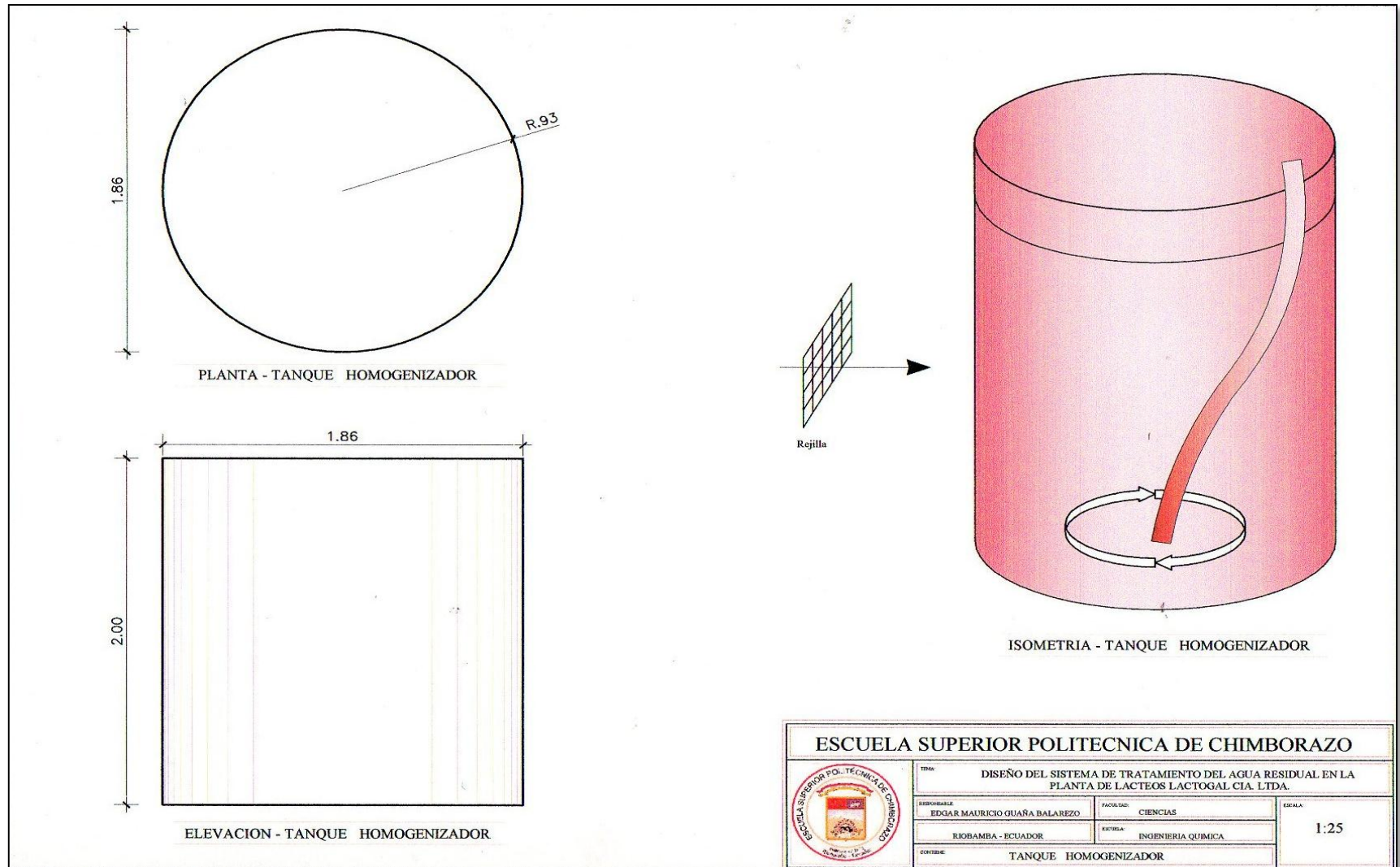
#### **4 RESPONSABLE**

Es responsabilidad del propietario/administrador de la industria láctea, dar ejemplo y velar porque el trabajador use los elementos de protección personal de acuerdo a las actividades que realice y a las condiciones de trabajo.

#### **5 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO**

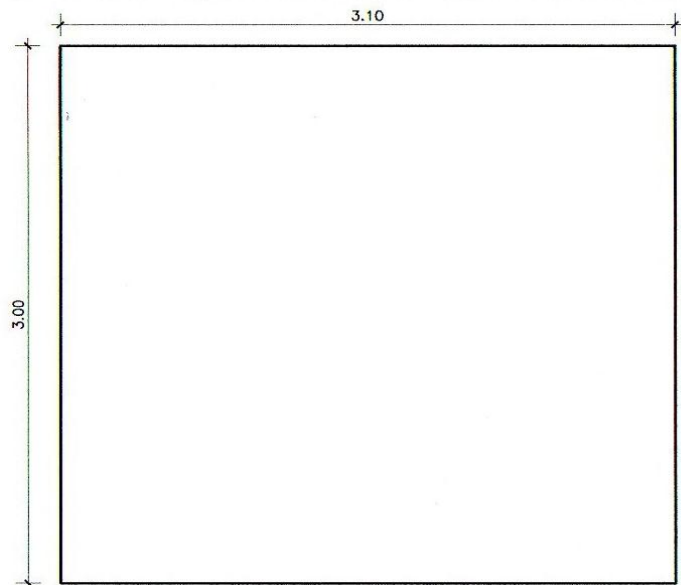
1. El propietario/administrador será el encargado de entregar la ropa de trabajo y de protección personal a las personas que laboran en la planta, como un overol, calzado de seguridad, mascarilla, guantes, gafas y demás elementos que protejan al empleado.
2. El propietario/administrador de la planta, el instante de la entrega de los elementos de protección personal, deberá instruir a los trabajadores sobre la importancia de su uso, los riesgos de los cuales le protege, el mantenimiento que debe darle al equipo de protección personal.
3. El personal deberá utilizar los elementos y equipos de seguridad obligatoriamente para llevar a cabo su trabajo dentro de la planta.
4. En caso de que los elementos de protección personal, presenten un deterioro o en su defecto se hayan extraviado, el empleado debe comunicar al propietario/administrador, el mismo que analizara el caso y procederá a su reposición si cree necesario, caso contrario tomara medidas según su propio criterio.

### Anexo 13. Vista de las Rejillas y Tanque Homogenizador

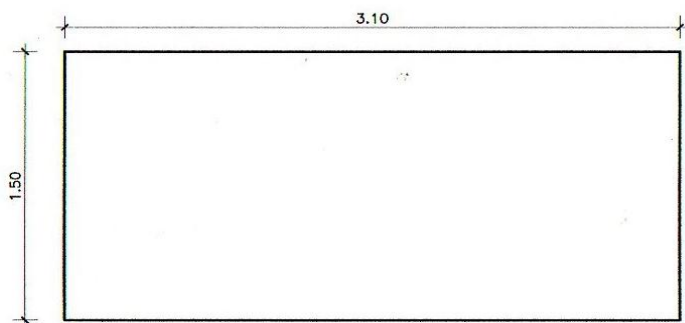


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO			
	TITULO: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LACTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.		
	RESPONSABLE: EDGAR MAURICIO GUAÑA BALAREZO	FACULTAD: CIENCIAS	ESCALA: 1:25
	RIOBAMBA - ECUADOR.	ESCUELA: INGENIERIA QUÍMICA	
	CONTENIDO: TANQUE HOMOGENIZADOR		

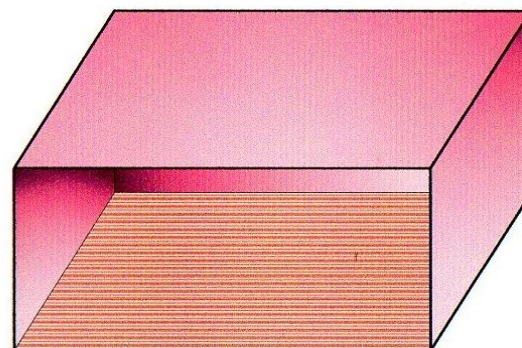
### Anexo 14. Vista del Tanque de Aireación



PLANTA - TANQUE DE AIREACIÓN



ELEVACION - TANQUE DE AIREACIÓN

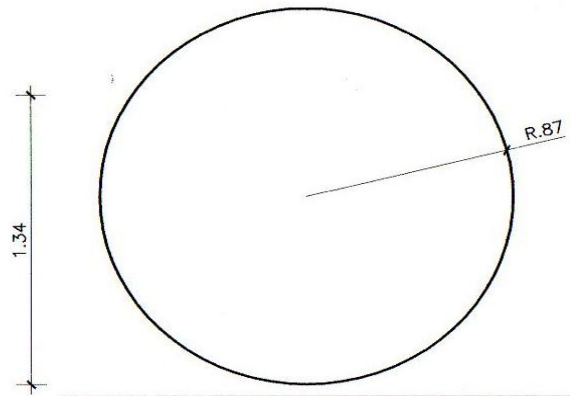


ISOMETRIA - TANQUE DE AIREACIÓN

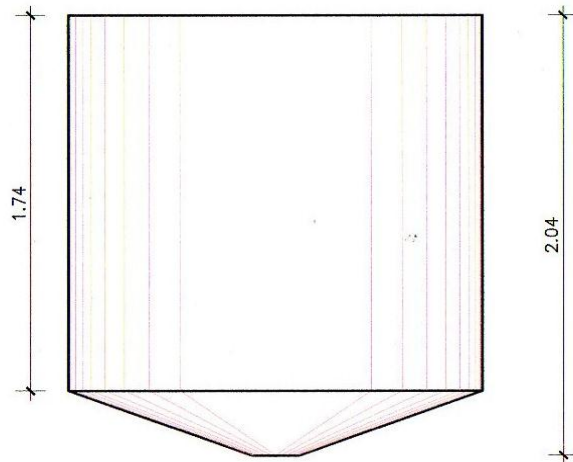
<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>			
	TITULO: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LACTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.		
	RESPONSABLE: EDGAR MAURICIO GUAÑA BALAREZO	FACULTAD: CIENCIAS	ESTADIA:
	RIOBAMBA - ECUADOR	ESCUELA: INGENIERIA QUIMICA	1:30
	CONTIENE: TANQUE DE AIREACION		



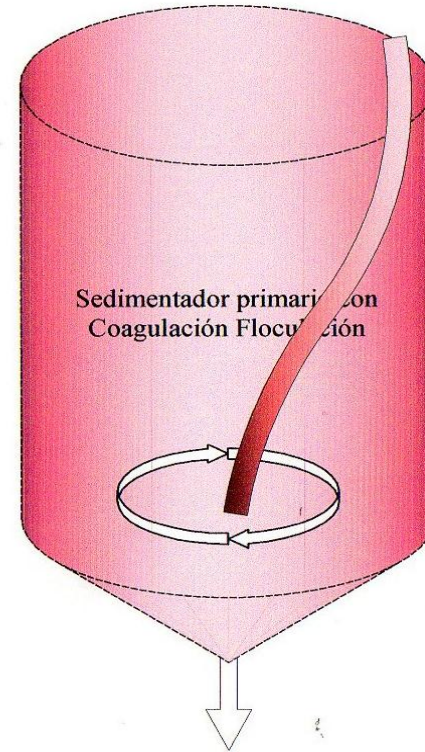
### Anexo 15. Vista del Sedimentador



PLANTA - SEDIMENTADOR DOSIFICACIÓN DE QUIMICOS



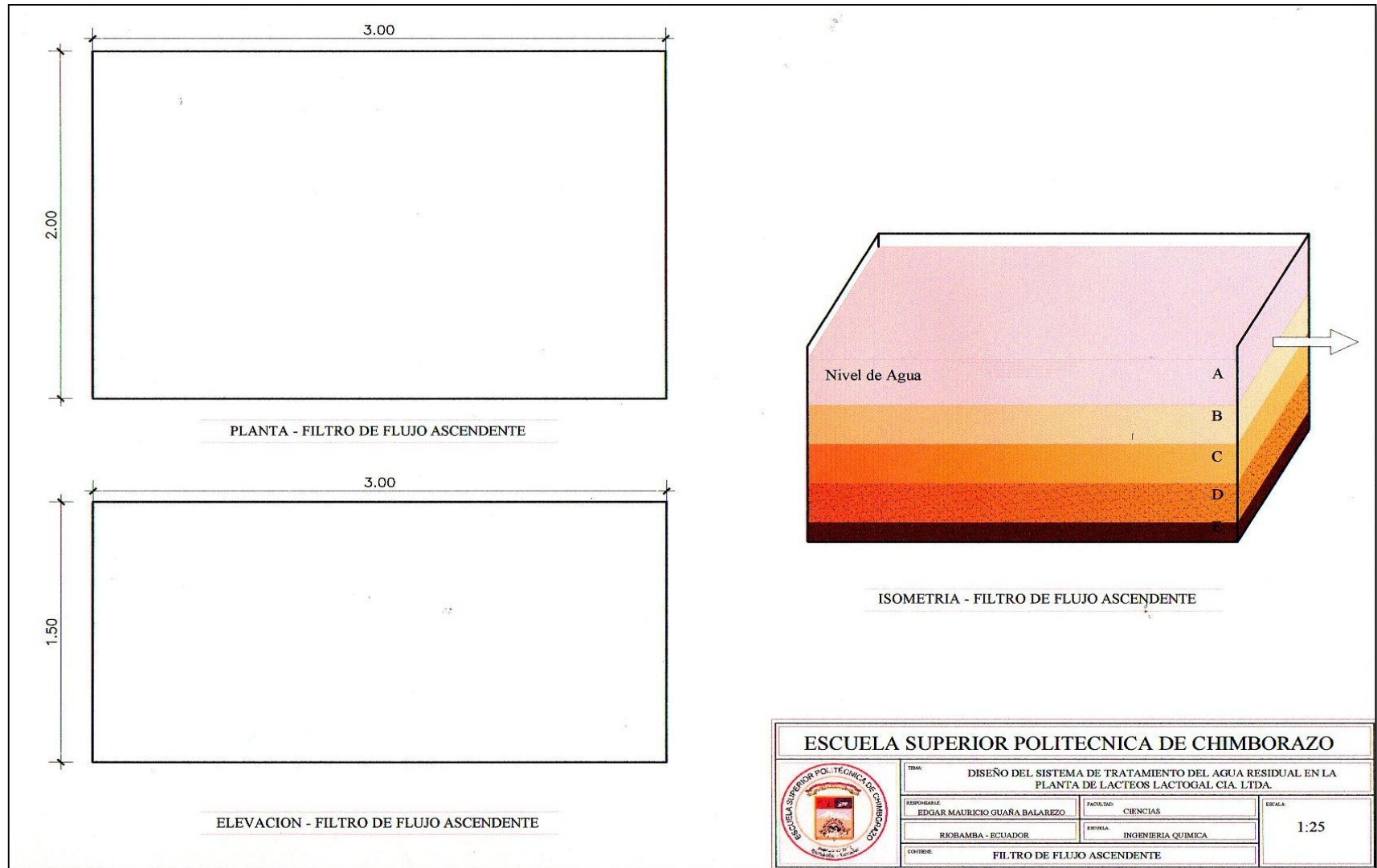
ELEVACION - SEDIMENTADOR DOSIFICACIÓN DE QUIMICOS



ISOMETRIA - SEDIMENTADOR DOSIFICACIÓN DE QUIMICOS

<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>			
TEMA: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LACTEOS LACTOGAL CIA. LTDA.			
RESPONSABLE: EDGAR MAURICIO GUAÑA BALAREZO	FACULTAD: CIENCIAS		ESCALA: 1:25
	ESCUELA: INGENIERIA QUÍMICA		
COURTE: ROBAMBA - ECUADOR		CONTENIDO: SEDIMENTADOR DOSIFICACION DE QUÍMICOS	

### Anexo 16. Vista del Filtro de flujo Ascendente



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO			
	TITULO:	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LACTEOS LACTOGAL CIA LTDA.	
	RESPONSABLE:	EDGAR MAURICIO GUAÑA BALAREZO	FACULTAD: CIENCIAS
		ROBAMBA - ECUADOR	ESCUELA: INGENIERIA QUIMICA
	CONTIENE:	FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE	
		ESCALA:	1:25