



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL
CANTÓN PÍLLARO”**

**Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA QUÍMICA**

AUTOR: YOLANDA ELISA HARO CARRILLO

TUTOR: Msc. JOSE USINA MANZANO

Riobamba- Ecuador

2015

©2015, Yolanda Elisa Haro Carrillo

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

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por permitirme cumplir este sueño; pues con su bendición ha sido esto posible. Agradezco a mis padres quienes a pesar de momentos muy difíciles me han brindado su apoyo y han hecho su mayor esfuerzo para darme y sacarme adelante, a mi hijo Josué quien ha sido mi compañía y mi inspiración todo este tiempo y a su corta edad me ayudado mucho. Un agradecimiento especial a mis amigos: Ruth Bucay, Flor Paca, Tatiana Mazón, Jennifer Girón, Nelly Timbanlombo, Gabriela Hernández, Patricio Rea, Fabiola Tarís, Laura Enríquez, Gladys Amangandí y mi querida María Belén ya que me supieron extender su mano en los momentos que más lo necesitaba y este logro es también gracias a ustedes. Quiero además hacer un extensivo agradecimiento a todas aquellas personas que en su momento supieron brindarme palabras de aliento y se alegraban con cada paso que daba de todo corazón muchas gracias.

Agradezco al Ing. José Usiña, Ing. Mónica Andrade y Dra. Gina Álvarez quienes con sus valiosos conocimientos me guiaron en la realización del trabajo de tesis.

De igual manera agradezco al Sr. Carlos Rodríguez y su esposa Martha Sánchez quienes me abrieron las puertas de su empresa para realizar el presente estudio.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con mucho cariño a mis padres que supieron brindarme su apoyo incondicional, a mi hijo Josué que es motor que mueve mi vida.

Y a todas aquellas personas, amigos y familiares quienes en algún momento no duraron en ayudarme o darme palabras de aliento pues este logro es también gracias a ustedes.

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

El tribunal del trabajo de titulación certifica que el trabajo de investigación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO”** de responsabilidad de la señorita egresada Yolanda Elisa Haro Carrillo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. José Usiña

DIRECTOR

.....

.....

Ing. Mónica Andrade

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

“Yo, HARO CARRILLO YOLANDA ELISA soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xix
SUMMARY.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Aguas residuales.....	5
1.1.1. Clasificación.....	5
1.1.2. Principales contaminantes.....	8
1.1.3. Características.....	10
1.1.2. Tratamiento de aguas residuales.....	16
1.2. Lácteos San José.....	20
1.2.1. Productos lácteos.....	20
1.2.2. Consumo de agua.....	23
1.2.3. Aspectos ambientales.....	24
1.3. Aguas residuales en Lácteos San José.....	26
1.3.1. Caudal.....	27
1.3.2. Muestreo.....	27
1.3.3. Características.....	29
1.3.4. Tratamiento.....	31
1.3.5. Diseño.....	37
CAPÍTULO II	
2. MARCO EXPERIMENTAL.....	55
2.1. Localización.....	55
2.2. Diagnóstico actual de la planta.....	55
2.3. Medición de caudal.....	56
2.3.1. Materiales para la medición del caudal.....	56
2.4. Muestreo.....	56
2.4.1. Materiales para el muestreo.....	58
2.5. Métodos y Técnicas.....	58
2.5.1. Métodos.....	59

2.6.	Caracterización de las Aguas Residuales.....	59
2.6.1.	<i>Técnicas empleadas para la caracterización de las aguas residuales.....</i>	60
2.6.2.	<i>Resultados obtenidos en la caracterización</i>	63
2.6.3.	<i>Comparación de los resultados obtenidos en la caracterización con la normativa ambiental.....</i>	63
2.7.	Pruebas de Tratamiento de las Aguas Residuales	64
2.7.1.	<i>Test de jarras</i>	65
2.7.2.	<i>Aireación.....</i>	70
2.7.3.	<i>Filtración</i>	72
2.8.	Caracterización del agua tratada.....	73
2.9.	Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento	73
CAPÍTULO III		
3.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	76
3.1.	Consideraciones de diseño	76
3.2.	Cálculos de Ingeniería	76
3.2.1.	<i>Caudal de diseño.....</i>	76
3.2.2.	<i>Diseño del canal rectangular</i>	77
3.2.3.	<i>Diseño de Rejillas.....</i>	78
3.2.4.	<i>Diseño del tanque homogenizador</i>	80
3.2.5.	<i>Diseño del sedimentador circular</i>	82
3.2.6.	<i>Diseño del tanque de aireación</i>	85
3.2.7.	<i>Diseño del Filtro Convencional Lento.....</i>	90
3.3.	Resultado del dimensionamiento de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales	91
3.3.1.	<i>Canal rectangular</i>	91
3.3.2.	<i>Rejillas</i>	92
3.3.3.	<i>Tanque homogeneizador circular.....</i>	92
3.3.4.	<i>Sedimentador</i>	93
3.3.5.	<i>Tanque de aireación.....</i>	93
3.3.6.	<i>Filtro convencional lento</i>	94
3.4.	Propuesta.....	94
3.5.	Presupuesto	97
3.5.1.	<i>Presupuesto General de la Planta de Tratamiento.....</i>	97

3.5.2. <i>Costo del PAC al día</i>	98
3.6. Alternativa al sistema de tratamiento propuesto	98
3.7. Análisis y Discusión de los resultados.....	99
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área
AH	Área del tanque homogenizador
A_p	Área de paso entre barras
AR	Agua Residual
Areq	Aire requerido
B	Ancho de rejilla
Cs	Carga de superficie
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E	Eficiencia
e	Espesor de las barras
FM	Factor de Mayorización
∞	Ángulo de inclinación de la rejilla
G	Gradiente de velocidad medio
g	Aceleración de la gravedad
h_c	Altura del canal
h_H	Altura del tanque Homogenizador
L_{sg}	Longitud de rejilla sumergida
N	Tasa de transferencia total de oxígeno
N_b	Número de barras
n	Coefficiente de Manning
nr	Velocidad de rotación
$nmáx$	Nivel máximo
Q	Caudal
QD	Caudal de diseño
RH	Radio hidráulico del canal

S_0	Concentración de DBO en el afluente
S	Concentración de DBO en el efluente
T	Temperatura
T_R	Tiempo de retención
TSS	Total de sólidos suspendidos
TSD	Total de sólidos disueltos
TRH	Tiempo de retención hidráulica
t	Tiempo
θ_{rc}	Tiempo medio de retención celular
μ	Viscosidad dinámica
V	Volumen
V_a	Volumen del tanque de aireación
V_H	Volumen del tanque Homogenizador
V_s	Volumen del sedimentador
V_{ap}	Velocidad de aproximación
W	Separación entre barras
WO_2	Requerimiento de oxígeno
Y	Coefficiente de producción celular

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de las aguas residuales	11
Tabla 2-1 : Clasificación de los filtros.....	36
Tabla 3-1: Consideraciones a tomar para la implementación de rejas de limpieza manual y automática.....	39
Tabla 4-1 Gradiente de Velocidad G y Tiempo de detención típica de los procesos de tratamiento de aguas residuales.....	44
Tabla 5-1: Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario.....	46
Tabla 6-1 : Tiempo de retención hidráulica para la sedimentación.....	47
Tabla 7-1: Valores de las constantes empíricas a y b a 20 °C.....	48
Tabla 8-1 : Valores de los parámetros más comunes para el diseño de sedimentadores primarios.....	48
Tabla 9-1: Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados	49
Tabla 10-1: Parámetros de diseño para el proceso de lodos activados	50
Tabla 11-2: Planificación del Muestreo.....	58
Tabla 12-2 : Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos de AR.....	63
Tabla 13-2: Comparación entre los valores obtenidos en la caracterización y los parámetros establecidos por la normativa ambiental para descarga al alcantarillado.....	64

Tabla 14-2:	Resultados de la turbidez en el ensayo con Policloruro de Aluminio.....	66
Tabla 15-2:	Resultados de la turbiedad y del DQO obtenidos en la coagulación con el policloruro de aluminio al 25% y una dosificación de 5ml	67
Tabla 16-2:	Resultados de la turbidez en el ensayo con sulfato de aluminio al 10% y cal.....	68
Tabla 17-2:	Resultados obtenidos de la turbiedad y DQO en la coagulación con sulfato de aluminio al 10 % y cal.....	69
Tabla 18-2:	Resultados obtenidos en el proceso de aireación.....	71
Tabla 19-2:	Resultados obtenidos en el proceso de filtración.....	72
Tabla 20-2:	Resultados obtenidos en la caracterización del agua tratada.....	73
Tabla 21-3:	Resultados del canal rectangular.....	92
Tabla 22-3:	Resultados del dimensionamientos del sistema de rejillas.....	92
Tabla 23-3:	Resultados del dimensionamiento del tanque homogenizador.....	92
Tabla 24-3:	Resultado del dimensionamiento del sedimentador circular.....	93
Tabla 25-3:	Resultados del dimensionamiento del tanque de aireación.....	93
Tabla 26-3:	Resultados del dimensionamiento del filtro convencional lento.....	94
Tabla 27-3:	Presupuesto General de la Planta de Tratamiento.....	97
Tabla 28-3:	Costo del PAC al día.....	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pp.
Ecuación 1-1	37
Ecuación 2-1	37
Ecuación 3-1	38
Ecuación 4-1	38
Ecuación 5-1	40
Ecuación 6-1	40
Ecuación 7-1	40
Ecuación 8-1	41
Ecuación 9-1	41
Ecuación 10-1	41
Ecuación 11-1	42
Ecuación 12-1	42
Ecuación 13-1	42
Ecuación 14-1	42
Ecuación 15-1	43
Ecuación 16-1	44
Ecuación 17-1	45
Ecuación 18-1	45
Ecuación 19-1	45
Ecuación 20-1	45
Ecuación 21-1	46
Ecuación 22-1	47
Ecuación 23-1	47
Ecuación 24-1	48
Ecuación 25-1	50
Ecuación 26-1	51
Ecuación 27-1	51
Ecuación 28-1	51
Ecuación 29-1	52
Ecuación 30-1	52

Ecuación 31-1	53
Ecuación 32-1	53
Ecuación 33-1	53
Ecuación 34-1	54
Ecuación 35-1	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Queso fresco “ Victoria’ s”.....	21
Figura 2-1	Bebida Láctea.....	23
Figura 3-1	Consumo de Agua en Lácteos San José.....	24
Figura 4-1	Generación de Residuos Sólidos en Lácteos San José.....	25
Figura 5-1	Generación de aguas residuales.....	26
Figura 6-3	Localización del proyecto de tesis.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1-3	Comparación de los resultados obtenidos después de la coagulación con el PAC al 25% y sulfato de aluminio.....	69
Gráfica 2-3	Comparación de la turbiedad antes y después del tratamiento del AR.....	74
Gráfica 3-3	Comparación del DQO antes y después del tratamiento del AR.....	74
Gráfica 4-3	Comparación del DBO antes y después del tratamiento del AR.....	75
Gráfica 5-3	Comparación los valores de grasas y aceites antes y después del tratamiento del AR.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes
ANEXO B	Medición del Caudal
ANEXO C	Gráfica de la Variación del Caudal
ANEXO D	Imágenes de la Variación del Caudal
ANEXO E	Medición del Caudal mediante el método volumétrico
ANEXO F	Muestras Compuestas
ANEXO G	Resultados obtenidos en la coagulación floculación
ANEXO H	Plano vista frontal de la planta de tratamiento
ANEXO I	Plano vista planta del sistema de tratamiento
ANEXO J	Plano del canal rectangular
ANEXO K	Plano del tanque homogenizador
ANEXO L	Plano del sedimentador circular
ANEXO M	Plano del tanque de aireación
ANEXO N	Plano del filtro lento convencional

RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales para la fábrica Lácteos San José ubicada en el cantón Píllaro, provincia de Tungurahua; debido a la generación de grandes volúmenes de aguas residuales que se descargan directamente al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento, incumpliendo con las leyes ambientales vigentes en el país. Para el desarrollo de este estudio fue necesario realizar la medición del caudal durante los 7 días de la semana y las 9 horas de trabajo con un intervalo de 10 minutos cada medición. Mediante la determinación del caudal se conoció el volumen de agua residual generado diariamente siendo este de 14580 litros; así mismo se realizó un muestreo tipo compuesto para determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual. A partir de la caracterización se conoció que el agua residual presenta valores elevados de parámetros como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), grasas y aceites. Posteriormente en base a la caracterización realizada se escogió el sistema de tratamiento más adecuado, el mismo consta de un sistema de rejillas de limpieza manual dispuestas sobre un canal rectangular, de un tanque homogenizador para repartir un caudal constante a las siguientes operaciones, de un sedimentador circular en el cual se dosificará policloruro de aluminio al 25 % en una dosis de 5ml por cada litro de agua residual, un tanque de aireación y un filtro lento a base de arena y grava con 1.20m y 0,45m de espesor respectivamente; con lo cual se obtendrá una remoción del 98,5% para la turbidez, 97% para la DQO, 97% para la DBO₅ y 99 % para aceites y grasas. Concluyéndose que con el sistema de tratamiento diseñado se logrará cumplir con los parámetros establecidos para descarga al sistema de alcantarillado público. Se recomienda a la fábrica Lácteos San José implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, libro VI, anexo I, recurso agua, descarga para alcantarillado público.

Palabras clave: <DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO>;<AGUAS RESIDUALES>;<DESCARGA ALCANTARILLADO PÚBLICO>;<FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ>; <PÍLLARO (CANTÓN)>;<TUNGURAHUA (PROVINCIA)>

SUMMARY

It was designed a treatment system for waste-water at the Dairy Company San José located at Píllaro canton, Tungurahua province ;due to the great loads of waste water directly flushed into the sewer without no treatment ,breaching so with current environmental laws in the country. For the development of this study, it was necessary to carry out measure of the flow during a whole week along the 9 working hours with intervals of 10 minutes each. By stating the flow, the volume of waste water generated daily was known, it is 14580 liters; the same way, a composed sampling was performed in order to determine the physical, chemical and microbiological features of the waste water. Based on this characterization, it was known that the waste water shows high figures in parameters such us: Oxygen Biochemical Demand (OBD), Oxygen chemical Demand (OCD), grease and oils. Furthermore , based on the characterization performed, the most adequate treatment system was chosen ,this is a grid system of manual cleaning made up on a rectangular channel, a homogenizer tank to distribute the constant flow to the following operations, a circular sedimenter in which aluminum polichlorine will be dosed at 25% in 5ml per liter of waste water ,an airing tank and slow filter made of sand and gravel with 1,20 m and 0,45 m respectively; with this it will be possible to remove 98,5 % of blur, 97 % for OCD , 97 % for OBD and 99 % of oils and grease. In conclusion, with the treatment system designed, the parameters stated for the flush to the public sewage system will be achieved. It is recommended to the Dairy Company San José, to implement the waste-water treatment system in order to fulfill the parameters stated in the Unified Text of Legislation from the Ministry of Environment, file VI, annex I, resource water, flushing for public sewage.

Key words: <DISING OF TREATMENT SYSTEM>;<WASTE WATER >;<FLUSHING FOR PUBLIC SEWAGE>;<SAN JOSÉ DAIRY COMPANY >; <PÍLLARO (CANTON)>;<TUNGURAHUA (PROVINCE)>

INTRODUCCIÓN

El Ministerio del Ambiente del Ecuador está trabajando conjuntamente con los todos los GAD municipales , haciendo que todas las industrias cuenten dentro de sus instalaciones con plantas de tratamiento de agua residual que permitan reducir la carga contaminante antes de ser descargada a cuerpos de aguas dulce o al sistema de alcantarillado público para de esta forma evitar contaminar el agua de los ríos y darle un mejor uso al agua tratada evitando consecuencias drásticas que conlleva la contaminación del agua.

En el presente estudio se diseñó un sistema de tratamiento para la fábrica Lácteos San José ubicada en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua en base a los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual, con la finalidad de cumplir con la normativa ambiental expuesta por el Ministerio del Ambiente y ajustar los parámetros que se encontraban fuera de norma a lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo I, Recurso agua y descarga para alcantarillado público.

El proceso de tratamiento seleccionado consta de etapas importantes como: homogenización de caudales, coagulación – floculación, sedimentación, aireación y filtración que nos permitieron reducir la contaminación del agua residual y obtener una remoción del 97% de carga orgánica, 99% de grasas y aceites y 98,5% de turbiedad.

ANTECEDENTES

El cantón Píllaro se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua a pocos minutos de la ciudad de Ambato, entre una de las actividades principales a la que se dedican sus habitantes es la ganadería y por esta razón aquí podemos encontrar muchas microempresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos. Es así que en la parroquia de Marcos Espinel de este cantón se encuentra ubicada la fábrica Lácteos San José. Es una industria que tiene sus inicios por el año de 1996; en ese entonces solo se dedican a la elaboración de queso fresco. En la actualidad la planta cuenta con amplias y nuevas instalaciones destinadas a procesar 10000 litros de leche diarios, de los cuales se elaboran queso fresco y bebida láctea.

Para la elaboración de dichos productos se requiere de una gran cantidad de agua para la generación de vapor; así como también para la limpieza de los equipos, utensilios y limpieza misma de la fábrica. Se estima que puede llegar a utilizarse una cantidad de 1 a 10 litros de agua por litro de leche y como resultado se generan grandes volúmenes de aguas residuales. Estos efluentes contienen principalmente gran cantidad de materia orgánica como grasas y aceites, sustancias nitrogenadas, lactosa, sólidos suspendidos; todos estos contaminantes son los responsables de que la aguas residuales presenten un alto DBO.

Además podemos encontrar otros contaminantes como son detergentes, ácido nítrico, sosa caustica que son utilizados para la limpieza de los equipos. En cuanto al pH de las aguas residuales es generalmente básico y suele tener un valor de 9, por el uso frecuente de soluciones alcalinas como ya se mencionó, pero tiende acidificarse por la fermentación de la lactosa a ácido láctico. Todas estas aguas residuales son descargas directamente al sistema de alcantarillado sin ningún tratamiento previo incumpliendo con las normas exigidas por parte del Ministerio del Ambiente.

JUSTIFICACIÓN

En vista de la importancia de cuidar y preservar un recurso tan importante como es el agua, el Ministerio del Ambiente hace énfasis de que las pequeñas, medianas y grandes empresas cumplan con la leyes ambientales y cuenten con plantas de tratamiento de aguas residuales que ayuden a reducir la contaminación de las mismas para de esta forma conservar este recurso vital y salvaguardar la integridad de la humanidad y de los ecosistemas en general.

Es así que la fábrica lácteos San José genera gran cantidad de agua residual diariamente, la misma que resulta principalmente del lavado de equipos, utensilios y limpieza misma de planta. Una vez generada el agua residual es descargada directamente al sistema de alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento, incumpliendo de esta forma las normas establecidas por parte del Ministerio del Ambiente.

Es por esta razón la necesidad de realizar los estudios respectivos para diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales; para de esta manera dar solución a un gran problema ambiental ; ya que mediante este estudio “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FABRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ” se logrará disminuir la contaminación de las mismas , ajustando los parámetros a las normas exigidas y citadas en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) , Libro VI, Anexo I, Recurso agua .

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales en la fábrica Lácteos San José del cantón Pillaro.

ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones actuales de la fábrica Lácteos San José con respecto a la disposición final de las aguas residuales.
- Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales según lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para descargas liquidas al sistema de alcantarillado público.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de los rangos establecidos por la normativa ambiental.
- Determinar el sistema de tratamiento más adecuado que permita reducir la carga contaminante de las aguas residuales en base a los análisis realizados.
- Validar el diseño del sistema de tratamiento mediante la caracterización física, química y microbiológica del agua tratada.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aguas residuales

Se denominan aguas residuales a las aguas que resultan de la utilización en la industria, en la agricultura, en la ganadería, en nuestros hogares y llevan consigo diferentes tipos de contaminantes como pueden ser: grasas, aceites, tensoactivos, materia orgánica, herbicidas, plaguicidas, incluso sustancias tóxicas dependiendo de su origen o tipo de industria como pueden ser metales pesados.

La descarga directa y sin ningún tipo de tratamiento de aguas residuales a cuerpos de agua dulce degrada la calidad de las mismas y resultan menos aptas para usos benéficos y en ocasiones se producen efectos drásticos sobre los ecosistemas acuáticos.

Por lo tanto estas aguas residuales deben ser llevadas a plantas de tratamiento en donde se realiza el tratamiento más adecuado con la finalidad de reducir la carga contaminante que poseen las mismas y finalmente descargarlas a cuerpos receptores sin ningún tipo de problema y en las mejores condiciones posibles.

1.1.1. Clasificación

1.1.1.1. Aguas residuales domésticas

Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia

orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

1.1.1.2. Aguas residuales de lluvias (ALL)

Son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno.

Los primeros flujos de ALL son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales, semi rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga.

1.1.1.3. Aguas residuales agrícolas (ARA)

Son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.

1.1.1.4. Aguas residuales industriales (RLI)

Son aguas desechadas de procesos y operaciones de transformación y agua de enfriamiento. Cada actividad industrial aporta una contaminación determinada por lo que es conveniente conocer el origen del vertido industrial para valorar su carga contaminante e incidencia en el medio receptor.

Los compuestos que se pueden encontrar en los desechos líquidos industriales le imparten características indeseables, a continuación se indican algunos componentes que podemos encontrar:

- Materia orgánica biodegradable, necesita oxígeno para la oxidación y procede de mataderos, curtiembres, centrales azucareras, fábricas de cerveza, alimentos enlatados, pastas alimenticias, industria láctea.
- Materia en suspensión se deposita en el lecho de ríos, lagos y estuarios; altera el ecosistema y se origina en fábricas de jabones, aceites, grasas vegetales, cerveza, destilados, hilados y tejidos, curtiembre y laboratorios de productos farmacéuticos.
- Compuestos orgánicos que persisten en el ambiente tales como: fenoles, se combinan con el cloro y dan sabor al agua; y órganos sintéticos proceden de la industria química, refinerías, plantas de coque y productos sintéticos.
- Sustancias tóxicas y materiales pesados, en bajas concentraciones afectan a la biota y al hombre, provienen de la industria química y farmacéutica en general.
- Grasas, aceites, combustibles y materia flotante, dan apariencia desagradable al agua, interfieren la transferencia del oxígeno. se originan en fábricas de aceites vegetales y jabones, productos lácteos.
- Nitrógeno y fósforo, son nutrientes esenciales para el crecimiento de seres vivos. Fertilizan las aguas y favorecen el crecimiento masivo de algas. Se originan en las fábricas de fertilizantes, productos alimenticios ricos en proteínas y operaciones pecuarias.
- Color y turbiedad, afecta la apariencia estética del agua y puede llegar a interferir en pruebas de laboratorio, provienen de plantas de pulpa y papel, la industria textil, productos químicos y farmacéuticos.
- Calor, aumenta la temperatura del agua. afecta la biota acuática y se agrega en sistemas de enfriamiento, plantas termoeléctricas, calderas de vapor y reactores nucleares.

1.1.2. Principales contaminantes

1.1.2.1. Desechos orgánicos

Se refiere a todo tipo de materia que pueda ser descompuesta por bacterias aeróbicas, es decir en presencia de oxígeno; dentro de estos tenemos principalmente heces humanas y de ganado.

Un exceso de materia orgánica causa olores desagradables en las aguas residuales debido a la descomposición de la misma, afectando de esta manera la vida de peces y otras especies presente en el agua. Un parámetro muy importante para medir la contaminación por desechos orgánicos es la DBO5 o también la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

1.1.2.2. Microorganismos patógenos

Dentro de este grupo podemos encontrar virus, bacterias, protozoos mismos que son patógenos y causan enfermedades como cólera, gastroenteritis, hepatitis, etc., llegando incluso a causar la muerte de niños especialmente en países subdesarrollados. Principalmente estos microorganismos se las puede encontrar en aguas negras ya que la mismas contienen heces .La OMS establece que el agua potable debe tener cero colonias de coliformes fecales por cada 100ml de agua.

1.1.2.3. Sustancias químicas inorgánicas

En este grupo encontramos metales pesado como el cromo, plomo y mercurio procedentes principalmente de industrias petroleras y textiles; además encontramos ácidos y bases. Todos estos contaminantes afectan la calidad del agua , la misma que ya no sería apta para consumo humano ya que produciría graves daños a la salud y en el caso de ser utiliza para regadío afectaría a las plantaciones.

1.1.2.4. Nutrientes vegetales inorgánicos

Aquí se encuentran principalmente nitratos y fosfatos, las mismas son sustancias solubles en el agua. Al encontrarse en exceso excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

1.1.2.5. Sedimentos y materiales suspendidos

Se refiere a todo tipo de partículas diminutas suspendidas en el agua como arcillas, arena, tierra y otros tipo de materia que puede estar suspendida y que son los responsable de la turbiedad en el agua, dificultando la vida de algunos organismos.

En el caso de los sedimentos se van acumulando y destruyendo sitios de alimentación de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puerto.

1.1.2.6. Compuestos orgánicos

Son compuestos de moléculas muy complejas y provienen principalmente de industrias petroleras y de la utilización del agua en la agricultura; dentro de este grupo podemos citar: plaguicidas, herbicidas, petróleo, disolventes, detergentes.

Al tener una estructura química muy compleja la depuración de las agua residuales es también es difícil y requiere de procesos más selectivos.

1.1.2.7. Sustancias radiactivas

Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces se pueden ir acumulando a los largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

1.1.2.8. Contaminación térmica

Se origina principalmente en sistemas de intercambio de calor como la pasteurización en donde el agua sale con una temperatura elevada, lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

1.1.3. Características

Las aguas residuales presentan características físicas , químicas y biológicas especiales sobre las demás aguas ,que es necesario comprender para optimizar su manejo, recolección, transporte , tratamiento y disposición final , para de esta manera minimizar los efectos adversos de su vertimiento a aguas naturales o al suelo ; obteniendo un mejor manejo ambiental de los desechos y de la calidad del agua.

Las características de las aguas residuales domésticas son diferentes a las aguas residuales industriales y de las actividades agrícolas.

Las diferencias en las características de estas aguas residuales son múltiples, no siendo posible utilizar los mismos sistemas de tratamiento y obtener la misma eficiencia.

Estas características físicas, químicas y biológicas se miden al igual que en las aguas naturales para establecer principalmente las cargas orgánicas y sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua dulce y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resulten más eficaces y económicos A continuación se muestra en la siguiente tabla las principales características a considerar en las aguas residuales:

Tabla 1-1: Características de las Agua Residuales

CARACTERÍSTICAS	AGUA DE RIO	AGUA POTABLE	AGUAS RESIDUALES
Ph			
Temperatura			
Color			
Turbidez			
Olor			
Solidos totales			
Solidos sedimentables			
Solidos suspendidos			
Residuo mineral			
Solidos volátiles			
Conductividad			
Alcalinidad			
Dureza			
Oxígeno disuelto			
DBO			
DQO			
Nitrógeno orgánico			
Nitrógeno amoniacal			
Nitrito			
Nitrato			
Cloruro			
Fosfato			
Detergentes sintéticos			
Coliformes			

Fuente: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

Realizado por: Yolanda Haro, 2015

1.1.1.1. Características físicas

En la caracterización de las aguas residuales es importante conocer principalmente características como: la temperatura y la concentración de los sólidos disueltos. El olor, color no son significativamente importante.

➤ **Sólidos totales**

El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Denominado también como residuo total después de realizar su determinación.

➤ **Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática, la velocidad de las reacciones, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles. La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, esto se debe a la incorporación de agua caliente procedente de las casas.

El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento y la lectura deberá hacerse después de un periodo de tiempo suficiente para la estabilidad del mercurio.

➤ **Color**

El agua residual doméstica puede tener un color grisáceo pero con el transcurso del tiempo en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir un color negro. En cuanto al agua residual de origen industrial el color depende del tipo de industria

➤ **Olor**

Normalmente, los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica.

➤ **Turbiedad**

La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad del efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad del agua es la falta de transparencia debido a la presencia de una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersos coloidales hasta partículas gruesa, arcillas, limo, materia orgánica, e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbiedad nefelométrica (UTN). Con este método se compara la intensidad de la luz dispersa por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en la misma condición de medida. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbiedad.

Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración

➤ **Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia implica un cambio en la conductividad. Por esa razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C , con error menor del 1%.

1.1.1.2. Características químicas

A diferencia de las aguas naturales, las aguas residuales han recibido sales inorgánicas y materia orgánica de la preparación de alimentos y el metabolismo humano principalmente y toda clase de materiales que se descargan por los desagües e imparten propiedades especiales a las aguas residuales; además, es necesario incluir detergentes y desinfectantes.

Las aguas residuales de las industrias poseen materiales orgánicos o inorgánicos, inclusive tóxicos, cada tipo de industria tiene características químicas diferentes. Entre los sólidos inorgánicos están principalmente nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

Otros de los parámetros químicos que caracterizan a las aguas residuales están:

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

La DQO o Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido.

La prueba de DQO se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o bicromato de Potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Este proceso oxida casi todos los compuestos orgánicos en gas carbónico (CO_2) y en agua. La reacción es completa en más de 95 % de los casos. La ventaja de las mediciones de DQO es que los resultados se obtienen rápidamente, alrededor de tres horas.

➤ **Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

La DBO o Demanda Biológica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos.

Se puede decir por tanto que la DBO representa la cantidad de materia orgánica biodegradable y la DQO representa tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable.

La prueba de DBO se determina generalmente a 20 °C después de incubación durante 5 días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual.

Es necesario controlar estos parámetros para asegurar una buena calidad de vertido a la vez que cumplimos con las normativas legales sin crear alteraciones ambientales poniendo en peligro nuestro ecosistema. Para reducir la DBO de un vertido lo más adecuado son los procesos biológicos dentro de los cuales nos encontramos con distintas alternativas.

Los procesos aerobios se basan en microorganismos que en presencia de oxígeno transforman la materia orgánica en gases y en nueva materia celular que usan para su propio crecimiento y reproducción.

1.1.1.3. Características biológicas

Los aspectos biológicos incluyen el conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales, así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico para tratar las aguas residuales o servidas de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

- Organismos coliformes y patógenos
- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Salmonellas
- Virus

1.1.2. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento que se da a las aguas residuales permiten disminuir sus contaminantes y así el agua tratada obtiene un mayor grado de purificación. Las etapas de tratamiento empleadas dependen del grado de contaminación y de las características de los contaminantes que presente el agua residual. Las etapas de un tratamiento de aguas residuales son:

1.1.2.1. Tratamiento primario

➤ 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.

➤ 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.

➤ Sedimentación

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.

➤ **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.

1.1.2.2. 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 biodegradables solubles y coloidales.

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.

➤ **Lechos Bacterianos**

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

➤ **Fangos activados**

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 clarificada.

➤ **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.

➤ **Sedimentación Secundaria**

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

1.1.2.3. 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.

➤ **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. El carbón activo se utiliza para remover toxinas y eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico dando muy buenos resultados.

➤ **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 estamos hablando de 1 a 3 días, que les hace prácticamente insensible a las variaciones de carga, pero requieren terrenos muy extensos. (PEÑA, Miguel, 2005) .

➤ **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.

1.2. Lácteos San José

Lácteos San José se encuentra ubicada en la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro, provincia de Tungurahua; tiene sus inicios desde 1996. Actualmente procesan 10000 litros de leche que son recogidos de la zona y son destinados para la elaboración de queso fresco y bebida láctea. Labora los siete días de la semana en una jornada única de 9 horas; iniciando sus labores a las 7am y culminando las mismas a las 4pm. Cuenta con un total de 12 empleados.

Para la elaboración de dichos productos se requiere grandes volúmenes de agua para el lavado de utensilios, tanques, equipos y lavado mismo de la planta, generándose grandes volúmenes de aguas residuales, alrededor de los 14580 litros de agua por día.

1.2.1. Productos lácteos

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.

Dentro de los productos lácteos que podemos obtener a partir de la leche podemos citar: queso y sus diferentes variedades, yogurt, mantequilla, leche pasteurizada y todas sus variedades, bebida láctea, manjar, leche condensada, leche en polvo etc.

En Lácteos San José los productos que se elaboran a partir de los 10000 litros de leche fresca que llegan a la planta son queso fresco y bebida láctea que son comercializados principalmente en la provincia del Guayas.

1.2.1.1. Queso fresco

Según el código alimentario se define como queso al producto fresco o madurado, sólido o semisólido, obtenido a partir de la coagulación de la leche, a través de la acción del cuajo u otros coagulantes, con o sin hidrólisis previa de la lactosa y posterior separación del suero.



Figura 1-1 : Queso fresco “ Victoria’s”

Fuente: Yolanda Haro,2015

➤ Diagrama de elaboración de queso fresco



Este proceso dura alrededor de 30 a 40 minutos y es en donde mayor agua se consume debido a que después de terminada la parada de quesos se procede a limpiar todos los instrumentos utilizados como mesa de moldeado, marmitas, palas, liras, etc.

1.2.1.2. Bebida láctea

Es el producto obtenido a partir de leche, leche reconstituida y/o derivados de leche, reconstituidos o no, con adición de ingredientes no lácteos y suero de leche; se permite el uso de aromatizantes. (INEN)



Figura 2-1: Bebida Láctea

Fuente: Yolanda Haro, 2015

➤ **Diagrama de elaboración de la bebida láctea**



En el proceso de elaboración de leche pasteurizada la cantidad de agua utilizada es menor en comparación a la del queso, debido a que los equipos se lavan al finalizar el total de litros de leche que se va a procesar.

1.2.2. Consumo de agua

Como en la mayoría de las fábricas del sector agroalimentario, las industrias lácteas consumen diariamente grandes cantidades de agua en sus procesos, especialmente para mantener las condiciones higiénicas y sanitarias requeridas.

Los mayores consumos se producen en la operación de limpieza, en donde la cantidad de agua total empleada supera varias veces el volumen de leche tratada; es decir entre una y cuatro veces dependiendo del tipo de instalación y del sistema de limpieza empleado. Por tanto es aquí donde se tiene un máximo caudal y se estima que el consumo de agua está entre el 25% y 40% del total del volumen utilizado diariamente.

Este consumo suele encontrarse entre 1.3-3.2 litros de agua por litro de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10 litros de agua por litro de leche recibida. Sin embargo, es posible optimizar este consumo hasta valores de 0.8-1.0 L de agua/litro de leche recibida utilizando equipamientos avanzados y un manejo adecuado. (SÁNCHEZ, Tamara, 2009).



Figura 3-1: Consumo de Agua en Lácteos San José

Fuente. Yolanda Haro, 2015

1.2.3. Aspectos ambientales

Durante los proceso de manufactura se generan diferentes tipos de contaminantes; así tenemos generación de residuos sólidos, ruido, emisiones atmosféricas y generación de aguas residuales que es uno de los mayores problemas ambientales. A continuación daremos una breve descripción de los diferentes contaminantes que se generan en la industria láctea.

1.2.3.1. Desechos sólidos

Estos provienen de los procesos de manufacturación, especialmente de la elaboración de queso pues aquí quedan pequeñas fracciones de queso denominado quesillo que resulta de la operación de prensado; así también podemos encontrar fundas plásticas que son mal utilizadas al momento de enfundar el queso. La disposición final de los residuos sólidos es depositarlos en tachos para después ser enviados en el colector de basura.



Figura 4-1: Generación de Residuos Sólidos en Lácteos San José

Fuente: Yolanda Haro, 2015

1.2.3.2. Emisiones y ruido

Las emisiones gaseosas provienen de la combustión del diésel que se utiliza en caldero y son eliminadas a través de chimeneas.

En cuanto a la generación de ruido provienen de los motores como las bombas que se utiliza.

1.2.3.3. Aguas residuales

Como ya se mencionó proviene de los diferentes procesos que requieren agua, especialmente limpieza de la planta y se caracterizan por presentar materia orgánica, especialmente grasas y aceites, sólidos suspendidos; Todos estos contaminantes y principalmente la lactosa conllevan a que las aguas tengan un alto DBO.

Las aguas de los procesos residuales son llevadas hasta el sistema de alcantarillado público por medio de tuberías sin ningún previo tratamiento.



Figura 5-1: Generación de aguas residuales

Fuente. Yolanda Haro,2015

1.3. Aguas residuales en Lácteos San José

Como ya es de conocimiento los vertidos líquidos son el aspecto que presenta mayor incidencia ambiental debido al alto volumen de aguas residuales que se generan durante el proceso de fabricación y a la carga contaminante de carácter orgánico.

La generación de estas aguas residuales se debe principalmente pérdidas del producto en este caso la leche en las diferentes etapas del proceso como el vaciado y llenado de tanques, limpieza de equipos ,superficies, tanques lecheros, utensilios, pasteurizadores, marmitas, camiones y limpieza general de planta. Todo esto conlleva a la generación de volúmenes elevados de agua residual.

Por otro lado la carga contaminante de dichas aguas supone una fuente de contaminación considerable debido a que sus efluentes suelen ser ricos en grasas, proteínas, materia orgánica y fundamentalmente lactosa que influye decisivamente en el aumento de la DBO. Otros contaminantes que también encontramos provienen de restos de lavados que contienen productos químicos como sosa caustica, desinfectantes, aditivos, detergentes, ácido nítrico.

Como dato se calcula que por cada tonelada de leche elaborada requiere entre 1-4 kg de agentes de limpieza.

Entre otros contaminantes podrán encontrarse bacterias termófilas y termoturaderas que hayan quedado sobre las placas de los cambiadores de calor y otros aparatos que retienen las pérdidas de leche mientras no se limpian.

Por tanto el proceso de elaboración y sistema de limpieza, mantenimiento y conservación de la maquinaria y preparación del personal son aspectos determinantes en la composición de las aguas residuales.

1.3.1. Caudal

Uno de los parámetros fundamentales para el diseño y cálculo de las plantas de tratamiento de aguas residuales es el caudal de agua a tratar, entendiéndose por caudal al volumen de agua que llega a la depuradora por unidad de tiempo. Se debe conocer su variación a lo largo del día, sus valores máximos y mínimos o los valores punta que puedan producirse. En lácteos San José se tiene un caudal promedio de 0,45 litros por segundo.

1.3.2. Muestreo

El muestreo consiste en tomar una muestra de agua la misma que debe ser representativa y reunir todas las características que realmente posee el agua residual. Para ello es necesario realizar una preparación previa de los puntos de muestreo, materiales para el muestreo y como conservar la muestra para su posterior análisis en el laboratorio. En el caso de realizar el muestreo de aguas industriales es necesario conocer la dinámica del proceso e identificar los puntos de descarga.

1.3.2.1. Tipos de recipientes

Generalmente se utilizan materiales de plástico o de vidrio y está en función de las características y contaminantes que posea el agua residual.

Por ejemplo para la determinación de metales no es conveniente utilizar recipientes de vidrio; debido a que el vidrio libera silicio y sodio contaminando la muestra.

Los recipientes plásticos excepto los teflonados deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias de plástico por ejemplo ésteres de ftalato de plástico y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestras.

1.3.2.2. Tipos de muestras

➤ **Muestras puntuales o simples**

Es aplicable cuando la composición del vertimiento es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias, en este caso la muestra es representativa en un intervalo de tiempo; con fundamento en lo anterior una muestra puntual es considerada como representativa, como el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales y en ciertas ocasiones efluentes residuales.

➤ **Muestra compuesta**

Es la combinación de muestras puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un periodo de 24 horas, en otros casos este periodo varía de acuerdo al tiempo de operación de las industrias. Este tipo de muestreo es aconsejable cuando el caudal y la carga contaminante son variables; entonces se sabe que una sola muestra simple no es aconsejable.

El muestreo consiste en tomar porciones individuales o alícuotas de la muestra en botellas de boca ancha y mezclarlas al final del periodo de muestreo extrayendo de cada una el volumen correspondiente de acuerdo con el cálculo instantáneo, el caudal promedio y el volumen de muestra a componer, tal como se aprecia en la siguiente formula:

$$V_i = (Q_i * V) / (Q_p * n)$$

Dónde:

V_i = Volumen de cada alícuota.

V = Volumen total a componer (generalmente 2000 ml como mínimo, muestra individual 200 ml)

Q_p = Caudal promedio durante la jornada de aforo.

Q_i = Caudal instantáneo de cada muestra original.

N = Número de muestras tomadas

En el caso que el caudal sea constante en el tiempo y la carga contaminante no, se toma la misma cantidad de muestra y se adiciona a la botella que contendrá la muestra compuesta. No deben utilizar muestras compuestas para la determinación de parámetros sujetos a cambios significativos e inevitables en el tiempo, estos preferiblemente se deben determinar en campo como cloro residual, sulfuros solubles, temperatura, pH y gases disueltos. (ZAMBRANO, Sandra, 2010).

1.3.3. Características

Las aguas residuales de la fábrica Lácteos San José presentan las siguientes características:

1.3.3.1. Color

Las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por tener un color blanquecino como es de esperarse debido al color de la leche.

1.3.3.2. Olor

El olor del agua es característico de una industria láctea es decir un olor a leche o suero. Este olor suele cambiar a un olor ácido al mantener el agua por varios días, esto se debe a que la lactosa presente en el agua se ha convertido en ácido láctico. Además al existir alta presencia principalmente de materia orgánica existe una descomposición de la misma causando fuertes olores a ácido butírico.

1.3.3.3. Sólidos

Visualmente podemos notar la presencia de fracciones de queso conocidas comúnmente como quesillo, palos y fundas plásticas.

En el laboratorio se realizó la determinación los análisis de valores de sólidos totales, sedimentables y disueltos obteniendo se valores de 6575mg /l, 1.8 mg/l y 1174mg/l respectivamente.

1.3.3.4. Turbiedad

Mediante la observación se pudo notar con claridad que el agua residual presenta una turbiedad bastante alta y se lo constató al realizar la medición en el turbidímetro la cual presentó un valor de 1026 NTU.

1.3.3.5. pH

En cuanto al pH el agua presentó un valor promedio de 6,18 aunque el valor del mismo suele disminuir al mantener el agua en reposo por varios días debido a la formación de ácido láctico

1.3.3.6. DQO

Como ya se describió anteriormente la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica tanto la biodegradable como la no biodegradable mediante la acción de un agente químico que comúnmente es el bicromato de potasio y por ésta razón siempre el resultado es mayor que la DBO.

En este caso las aguas de lácteos San José se caracterizan por presentar valores altos de DQO cuyo promedio fue de 6415mg/l ya que las AR suelen ser aguas ricas en materia orgánica.

1.3.3.7. DBO

En cuando a la DBO se sabe que expresa la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismo para descomponer sólo la materia orgánica biodegradable en un periodo de incubación de 5 días a 20 ° C .Las agua residuales de nuestra industria lácteas se caracteriza por tener valores de DBO de 2997 mg/l.

1.3.3.8. Grasas y aceites

Las aguas en lácteos San José se caracterizan por presentar también valores elevados de grasas y aceites, recordemos que la leche en su composición tiene un porcentaje de grasa entre el 3.5% y 6% dependiendo las diferentes razas bovinas.

Medir este parámetro es importante pues valores elevados del mismo genera un aspecto desagradable en las aguas; así como también impide el paso de la luz hacia el agua afectando de esta forma la vida acuática. El agua residual de la fábrica presenta un valor promedio de 300 mg/l.

1.3.3.9. Coliformes fecales

Esta prueba fue necesaria para conocer las características microbiológicas de las aguas, debido a que son aguas de una industria láctea y por ende las mismas son un cultivo para ciento de bacterias. Se tuvo un valor promedio de 160000 UFC/100ml.

1.3.4. Tratamiento

El tratamiento más adecuado para descontaminar las aguas residuales de Lácteos San José se realizó en base a las características determinadas en el laboratorio y que fueron descritas anteriormente. Este tratamiento nos permitirá ajustar los parámetros a los establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Anexo I recurso agua, descarga para alcantarillado público y es el siguiente:

1.3.4.1. Sistema de 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. 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 en este caso quesillos, fundas plásticas, palos y que posteriormente son retirados para ser 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.

Para este diseño emplearemos las rejillas de tipo manual que por lo general se emplean en plantas pequeñas y sus dimensiones no son muy grandes debido a que se complicaría la labor de limpieza. Además las rejillas manuales presentan cierta inclinación de 30 a 45°. Una consideración a tomar en cuenta es también la velocidad de aproximación del agua residual, la misma que debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para de esta manera garantizar un área de acumulación de residuos sólidos adecuada

1.3.4.2. Tanque homogeneizador

Se lo utilizará debido a que el caudal y la carga contaminante a lo largo de la jornada de trabajo varían mucho y es mediante la implementación del tanque homogeneizador que se logrará regular el caudal y mantenerlo constante para las siguientes etapas de tratamiento.

1.3.4.3. Coagulación floculación

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para:

- Remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción del color verdadero y aparente

- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos entre otros.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en este proceso:

- a) La desestabilización de las partículas suspendidas, es decir la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto los autores suelen referirse como coagulación y al segundo como floculación.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y solo dura fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La floculación en cambio es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas contra otras para formar coágulos mayores. (ARBOLEDA JORGE, 2000).

1.3.4.4. Sedimentación

La sedimentación es la eliminación de materia particulada, flóculos químicos y precipitados en suspensión del agua residual por acción de la gravedad. Un diseño deficiente de tanques de sedimentación producirá una disminución de la eficiencia del tratamiento, lo cual puede producir trastornos que pueden afectar a otras operaciones posteriores. Por el contrario si los tanques son dimensionados correctamente pueden eliminar entre el 50% y 70% de sólidos suspendidos y entre el 25% y 40% de la DBO₅.

En cuanto al tiempo de retención mínimo recomendado para la sedimentación es de 3h. Normalmente las cubas de sedimentación se diseñan para la coagulación química o ablandamiento. Pueden construirse de acero u hormigón con una amplia gama de formas y mecanismos de flujo. (BARRIONUEVO, 2002)

Existen diferentes tipos de sedimentadores para nuestro proyecto se empleará un sedimentador circular ya que son los más comunes en plantas de tratamiento y se puede lograr una buena remoción de lodos.

1.3.4.5. Aireación

La aireación es el proceso mediante el cual se suministra oxígeno al agua residual con la finalidad de aclimatar a los microorganismos que se encuentran presentes en la misma y que serán los encargados de degradar la materia orgánica, debido a que la misma les servirá de alimento. Con este proceso se consigue eliminar olores reducir la DBO y la DQO.

El proceso de aireación es un proceso biológico y simula lo que es el proceso de lodos activados. Durante este proceso la materia orgánica disuelta y finamente dividida se convertirá en flóculos biológicos sedimentables.

Para el diseño del proceso de lodos activados se debe tomar en cuenta el tipo de reactor a utilizar y las necesidades de transferencia de oxígeno.

En cuanto a la elección del tipo de reactor los más utilizados son los de tipo pistón y los de mezcla completa siendo este último el más utilizado por suministrar una adecuada cantidad de oxígeno.

Otra consideración que se debe tomar en cuenta es que cuando se trata agua potable los aireadores por gravedad y por rocío son los más recomendables ya que ayudan a remover hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno. Para aguas residuales de tipo industrial no son tan recomendables debido a que los requerimientos de capacidad son mayores; así como también se requiere mayores eficiencias lo que se consigue solo con tanques de aeración y mediante sistemas de difusores.

➤ **Difusores**

Los difusores que existen son muy variados así tenemos:

- Difusores porosos, aquí encontramos los difusores de placa, domo, disco y tubo
- difusores no porosos dentro de estos encontramos tubería ranurada, orificio con válvulas, spagers.
- otros sistemas de difusión como los difusores de chorro, aireadores por aspiración y los aireadores de tubo en U.

Para el proceso de aireación se seleccionó los difusores porosos debido a que poseen una eficiencia alta de transferencia de oxígeno y dentro de estos los tubos porosos que son difusores en forma de tubo de diferentes materiales como: goma sintética, de plástico en la actualidad la calidad ha mejorado ya que los primeros difusores de plástico tuvieron graves problemas de disgregación en los tanque de aireación.

Existen tubos de mineral formados de granos de corindón unidos por un cemento cerámico vitrificado a alta temperatura ,este material puede considerarse perfectamente inerte frente a los productos químicos que puede contener las aguas residuales y también frente al ataque bacteriano. También encontramos de material mixto que consiste en granos de corindón aglomerados con cemento plástico, su inercia respecto al a taque químico es similar a la de los minerales.

Los tubos se instalan normalmente en bandas de 1m de ancho a lo largo de una pared del depósito. La profundidad para su instalación está comprendida entre 3 y 6 m.

➤ **Rendimiento de los difusores**

La eficiencia de la transferencia de oxígeno depende de muchos factores ,entre los cuales se hallan el tipo, dimensiones y geometría de los difusores ,el caudal del aire , la profundidad de sumergencia, la geometría del tanque ,incluidas la posición de las conducciones y de los difusores y las característica del agua residual. En cuanto al tamaño de los poros se generan mayores eficiencias cuando más finos son los poros de difusor.

1.3.4.6. Filtración

La filtración se define como el paso de un fluido a través de un medio poroso. El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han sido retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos anteriores.

La filtración puede efectuarse en muchas formas con baja carga superficial como los filtros lentos o con alta carga superficial como los filtros rápidos; en medios porosos como pastas arcillosas o en medios granulares como arena, antracita; con flujo ascendente, con flujo descendente o mixto.

Por último el filtro puede trabajar a presión o por gravedad según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista en lecho filtrante. A continuación se muestra una tabla de la clasificación de los filtros basada en las ideas expuestas anteriormente:

Tabla 2-1: Clasificación de los filtros

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido de flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos 120- 130m ³ /m ² /día	1. Arena(h=60-75cm) 2. Antracita(h=60,75cm) 3. Mixtos Arena (20-35cm) Antracita (30-50) 4. Mixtos : arena, antracita ,granate	Ascendentes Descendentes Flujo mixto	Por gravedad Por presión
Lentos 7-14 m ³ /m ² /día	Arena (90-120 cm)	Descendente Ascendente horizontal	Por gravedad

Fuente: Jorge Arboleda Valencia

Nosotros utilizaremos un filtro convencional lento, que es un filtro de flujo descendente, de forma rectangular en el cual se coloca un lecho de arena fina de 1,40m de espesor sobre un lecho de grava gruesa de espesor 0,45m.

Así mismo en el fondo de los filtros se dispondrá un sistema de drenaje que consiste en una serie de tuberías en forma de espina de pez; en donde las tuberías secundarias recolectan el agua filtrada llevándola hacia a la tubería principal. (ARBOLEDA JORGE, 2000)

1.3.5. Diseño

1.3.5.1. Caudal de diseño

Como ya se mencionó anteriormente 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 tanques que formaran parte de la planta de tratamiento.

Para determinar el caudal podemos utilizar la siguiente ecuación:

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

Dónde:

Q = caudal en m³/h

V= volumen en m³

t = tiempo en h

Una vez calculo el caudal es necesario determinar el caudal de diseño para cual se hace uso del factor de mayorización o factor de seguridad mediante la siguiente expresión:

$$Q_D = Q + Q (FM) \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Dónde:

Q_D = caudal de diseño (m^3/h)

Q = caudal (m^3/h)

1.3.5.2. Diseño del canal rectangular

En cuanto al diseño de canal se trata de un canal abierto rectangular y sobre este se dispondrá el sistema de rejillas. Las ecuaciones requeridas para su diseño se muestran a continuación.

➤ Cálculo del área

Al considerar que es un canal de forma rectangular la ecuación que nos permitirá calcular el área está en función de la base del canal y de la altura y es la siguiente:

$$Ac = bc \times hc \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Dónde:

Ac = área transversal del canal (m^2)

bc = base del canal (m)

hc = altura del canal (m)

➤ Cálculo del radio hidráulico

De igual forma el radio hidráulico está en función de la forma geométrica de la sección transversal del canal y la ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$RH = \frac{b \times h}{b + 2h} \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Dónde:

RH =radio hidráulico del canal (m)

b = base del canal (m)

h = altura del canal (m)

1.3.5.3. Diseño de la rejillas

Para el diseño de las rejillas se tomara en cuenta que las mismas serán de limpieza manual y por tanto se tomara en cuenta las consideraciones presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Consideraciones a tomar para la implementación de rejas de limpieza manual y automática

Características	Unidades	Limpieza manual	Limpieza automática
Ancho	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	30-45	50-82.5
Velocidad de aproximación	m/s	0.45	0.60
Perdida de carga admisible	Mm	150	150
Criterios		Empleadas en plantas de pequeño tamaño. Las barras que conforman la reja no deben ser mayores a 10 mm de ancho.	Se dividen en 4 tipos: a) Rejas mediante cadenas b) De movimiento oscilatorio c) Catenarias d) Rejas accionadas mediante cables.

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

Realizado por: Yolanda Haro, 2015

- Cálculo de la velocidad de aproximación del agua a la rejilla

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

Dónde:

V = velocidad del agua residual (m/s)

N = coeficiente de Manning de tablas en este caso se utilizara el valor de 0.013 para hormigón.

RH = Radio hidráulico (m)

S = gradiente hidráulico (m/m) dato de diseño

- Cálculo del área entre barras de la rejilla

Se utiliza la siguiente expresión:

$$Ab = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación 6-1}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V = velocidad de aproximación (m/s)

Ab = área entre barras (m²)

- Cálculo longitud sumergida de la rejilla en el agua residual

Se empleará la ecuación expresada de la siguiente manera:

$$Ls = \frac{n_{max}}{\text{sen } \infty} \quad \text{Ecuacion 7-1}$$

Dónde

Ls = longitud de la rejilla sumergida (m)

nmax = nivel máximo (m)

∞ = ángulo de inclinación de la rejilla en grados

Para encontrar el nivel máximo del agua es mediante la ecuación que sigue.

$$n_{max} = \frac{Q}{V \times B} \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Dónde:

n_{max} = nivel máximo

Q = caudal (m³ / s)

B = Ancho de la rejilla (m)

V = velocidad de aproximación (m/s)

- Determinación del número de barras en la rejilla

Se utilizará la siguiente expresión:

$$Nb = \frac{B-W}{W-e} \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Dónde:

Nb = número de barras

B = ancho de la rejilla (m)

W = separación entre barras (m)

e = espesor de las barras (m)

1.3.5.4. Diseño del tanque homogenizador

El tanque homogenizador será de forma circular y se efectuaran los siguientes cálculos:

- Cálculo del área del tanque homogenizador

Para calcular el área del tanque homogenizador tomamos en cuenta que es un tanque circular y partimos de la siguiente ecuación:

$$V_H = A_H h_H \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Despejamos el área y nos queda:

$$AH = \frac{V_H}{h_H} \quad \text{Ecuación 11-1}$$

Dónde:

A_H = área del tanque homogenizador en m^2

V_H = volumen del agua residual a tratar en m^3

h_H = altura del tanque homogenizador en m

➤ Cálculo del radio del tanque homogenizador

$$r_H = \sqrt{\frac{A_H}{\pi}} \quad \text{Ecuación 12-1}$$

Dónde:

r_H = radio del tanque homogenizador (m)

A_H = Área del tanque homogenizador (m)

➤ Cálculo del diámetro

$$\varnothing_H = 2r \quad \text{Ecuación 13-1}$$

Dónde:

\varnothing_H = diámetro del tanque homogenizador (m)

➤ Cálculo del volumen del tanque homogenizador

$$V_H = \pi r^2 h_H \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Dónde:

V_H = Volumen del tanque homogenizador. (m³)

r = radio del tanque homogenizador (m)

h_H = altura del tanque homogeneizador (m)

➤ Cálculo de la energía disipada en el mezclado

Para calcular la energía que se requiere para realizar la etapa de mezclado tanto en el tanque homogenizador como en el tanque sedimentador se utiliza la siguiente expresión:

$$P = G^2 \times \mu V_H \quad \text{Ecuación 15-1}$$

Dónde:

P = potencia (W)

G = gradiente medio de velocidad (s⁻¹)

μ = viscosidad dinámica (N s/m²)

V = volumen del tanque homogenizador o sedimentador (m³)

Para determinar el gradiente de velocidad G hacemos uso de la siguiente tabla:

TABLA 4-1: Gradiente de Velocidad G y Tiempo de detención típica de los procesos de tratamiento de aguas residuales

Intervalo de Valores			
Proceso		Tiempo de Detención	Valor de G, s ⁻¹
Mezclado	Operaciones de mezcla rápida típicas	5-20 s	250-1500
	Mezcla rápida en procesos de filtración de contacto	< 1-5 s	1500-7500
Floculación	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, Vol. I

Para calcular el gradiente de velocidad de un fluido se puede hacer uso también de la siguiente expresión:

$$G = 0,25 \times n^{1,25} \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Dónde:

G = gradiente medio de velocidad del fluido (s⁻¹)

n = velocidad de rotación (rpm)

1.3.5.5. Diseño del tanque circular de sedimentación

- Cálculo de 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:

$$C_s = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

De la ecuación anterior despejamos el área y nos queda:

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación 18-1}$$

Dónde:

C_s = carga de superficie (m^3/m^2h)

A = Área superficial del tanque, (m^2)

Q = Caudal de agua residual, (m^3/h)

➤ Cálculo del radio del Sedimentador

Para encontrar el radio partimos de la siguiente ecuación:

$$r_s = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}} \quad \text{Ecuación 19-1}$$

Dónde:

r_s = radio del sedimentador, (m).

A_s = Área del sedimentador, (m^2)

➤ Cálculo del diámetro del sedimentador

$$\phi_s = 2r \quad \text{Ecuación 20-1}$$

Dónde:

$\emptyset s$ = diámetro del sedimentador circular (m)

r = radio del sedimentador circular (m)

➤ Cálculo del volumen del sedimentador

$$V_S = \pi r^2 h_S \quad \text{Ecuación 21-1}$$

Dónde:

V_S = Volumen del tanque homogenizador. (m³)

r = radio del tanque homogenizador (m)

h_S = altura del tanque homogeneizador (m)

Para calcular la altura hacemos uso del valor presentado en la siguiente tabla:

TABLA 5-1: Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario

PARÁMETROS	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 – 3,4	3,6
Longitud (m)	3 – 60	12 – 45
Anchura (m)	6,25 – 16	8
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,02 – 0,05	0,03

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

- Cálculo del tiempo de Retención Hidráulica

$$T_R = \frac{Q}{V_S} \quad \text{Ecuación 22-1}$$

Dónde:

T_R = Tiempo de retención hidráulica, (h)

Q = Caudal de AR a tratar, (m³/h)

V_S = volumen del sedimentador, (m³)

En caso de que no se pueda calcular el tiempo de retención hidráulica se puede utilizar los que se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 6-1: Tiempo de retención hidráulica para la sedimentación

Sedimentación primaria	Valor mínimo (h)	Valor típico (h)	Valor máximo (h)
Tiempo de retención para caudal medio	1,5	2	3
Tiempo de retención para caudal máximo	1	1,5	2

Fuente: Aurelio Hernandez, Pp 98

- Cálculo del porcentaje de remoción para DBO₅ y sólidos totales suspendidos SST

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{Tr}{a+bTr} \quad \text{Ecuación 23-1}$$

Dónde:

R = porcentaje remoción esperado (%)

Tr = tiempo nominal de retención (h)

a y b = constantes empíricas

Tabla 7-1: Valores de las constantes empíricas a y b a 20 °C

Variables	A	B
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

FUENTE: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G

En conclusión podemos decir que para el diseño de sedimentadores primarios de geometría circular existen diversos criterios según varios autores es por eso que a continuación se presenta una tabla que resume los valores más usados según autores como Metcalf- Eddy, Jaime Romero Rojas, Aurelio Hernandez y Jorge Arboleda Valencia.

Tabla 8-1: Valores de los parámetros más comunes para el diseño de sedimentadores primarios

	Intervalo	Valor típico
Tiempo de retención (h)	1,5-3	2
Carga Superficial (m³/m² día)	20 – 50	40
Profundidad (m)	3 - 4,5	3,6

Realizado por: Yolanda Haro, Mayo 2015

1.3.5.6. Diseño del tanque de aireación

- Cálculo del volumen

$$V = \frac{\phi_{rc} * Q * Y * (S_0 - S)}{X(1 + K_d \phi_{rc})} \quad \text{Ecuación 24-1}$$

Dónde:

Φ = tiempo medio de retención celular hidráulica, (h)

Q = Caudal de AR a tratar, (m³/d)

S₀ = Concentración de DBO en el afluente (kg/m³).

S = Concentración de DBO en el afluente (kg/m³).

K_d = Coeficiente de degradación endógena (d⁻¹).

X = Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (kg/m³)

Para el diseño del proceso de lodos activados se toma en consideración ciertos criterios que se muestran en la tabla:

Tabla 9-1: Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

Coeficientes.	Unidades para SSV.	Rangos.	Típico.
<i>Y</i>	mg SSV/mg DBO ₅	0.4	0.6
<i>K_d</i>	d ⁻¹	0.0025-0.0075	0.06
<i>k</i>	mg /L DBO ₅	25-100	60

Fuente: Jaime Romero Rojas

Tabla 10-1: Parámetros de diseño para el proceso de lodos activados

Modificación del proceso	θ_c , d	F/M Kg DBO ₅ aplicada/KgSSVLMd	Carga Volumétrica KgDBO ₅ aplicada/m ³ d	SSL, mg/L	V/Q, h	Qr/Q
Convencional.	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.75
Mezcla completa.	5-15	0.2-0.4	0.80-1.92	2500-4000	3-5	0.25-1.0
Alimentación escalonada	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Aireación modificada.	0.2-0.5	1.5-5.0	1.20-2.40	200-1000	1.5-3	0.05-0.25
Contacto y estabilización.	5-15	0.2-0.6	0.96-1.20	(1000-3000) ^a (4000-10000) ^b	(0.5-1.0) ^a (3-6) ^b	0.5-1.50
Aireación Prolongada	20-30	0.005-0.15	0.16-0.40	3000-6000	18-36	0.5-1.50
Aireación de alta carga.	5-10	0.4-1.5	1.60-1.60	4000-10000	2-4	1.0-5.0

Fuente: Metcalf y Eddy, Pp 626

➤ Cálculo eficiencia

Para obtener la eficiencia del proceso nos tenemos que basar en la DBO₅ soluble que posee tanto el efluente cuando el afluente, utilizando la expresión siguiente:

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100 \quad \text{Ecuación 25-1}$$

Dónde:

E = Eficiencia

S_o = Concentración de DBO o DQO a la entrada (kg/m³).

S = Concentración de DBO o DQO a la salida (kg/m³)

- Cálculo de tiempo de retención hidráulica

$$T_R = \frac{V_a}{Q} \quad \text{Ecuación 26-1}$$

Dónde:

T_R = Tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación (h)

V_a = Volumen de tanque de aireación (m^3).

Q = Caudal de entrada al tanque de aireación (m^3/h)

- Cálculo de requerimiento de oxígeno

Se emplea la siguiente expresión:

$$W_{O_2} = [a(S_o - S)Q + b * X * V] \quad \text{Ecuación 27-1}$$

Dónde:

W_{O_2} = Requerimiento de oxígeno, (kgO_2/d).

a = Fracción de sustrato removido utilizado para la producción de energía (0.3 y 0.63 $kgO_2/kgDBO$).

b = Oxígeno necesario para la respiración endógena (0.55 y 0.28 $KgO_2/KgSSV^* d$)

- Cálculo de transferencia de oxígeno a través de difusor

Cuando la aireación se realiza mediante la utilización de difusores se utiliza la siguiente expresión:

$$N = N_o * \left[\alpha \left(\frac{\beta * C'_{sw} - C_L}{C_{ST}} \right) * (1.024^{(T-20)}) \right] \quad \text{Ecuación 28-1}$$

Dónde:

N = Tasa de transferencia total de oxígeno ($\text{KgO}_2/\text{KW}^*\text{h}$).

N_0 = Tasa transferencia de oxígeno en condiciones de referencia (20°C y oxígeno disuelto igual a cero, 1.5 y 2.0 $\text{KgO}_2/\text{KW}^*\text{h}$)

α = Factor de correlación para la transferencia de oxígeno para la purga (0.4 y 0.8)

β = Factor de correlación para la salida y tensión superficial (0.9 y 0.98)

C_L = Concentración de oxígeno disuelto (según Aceirvala 1937 y Mara 1376 es de 0.5 a 2.0 mg/L)

C_{sw} = concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura en un tanque de aireación a una temperatura y altura (mg/L).

➤ Cálculo de cantidad de aire requerido

$$A_{Req} = \frac{Q * DBO}{\%O_2 \text{ en el aire} * E * \rho_{aire}} \quad \text{Ecuación 29-1}$$

Dónde:

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

E = Eficiencia de difusión

ρ_{aire} = densidad del aire

➤ Cálculo de potencia requerida

$$P_w = \frac{W O_2}{24 * N} * 10^{-3} \quad \text{Ecuación 30-1}$$

Dónde:

P_w = Potencia total requerida

WO_2 = Requerimiento de oxígeno

N = Tasa de transferencia total de oxígeno ($KgO_2/kw \cdot h$)

1.3.5.7. Diseño del filtro convencional lento

➤ Cálculo del área del filtro

$$AF = \frac{Q}{\text{Tasa de filtración}} \quad \text{Ecuación 31-1}$$

Dónde:

A_F = Área del filtro (m^2)

Q = caudal (m^3/h)

Tasa de filtración = (m^3/m^2h)

➤ Cálculo de la longitud de filtro

$$A = a l \quad \text{Ecuación 32-1}$$

Dónde:

A = área del filtro (m^2)

a = ancho del filtro m

l = largo del filtro

Despejamos l y nos queda:

$$l = \frac{a}{A} \quad \text{Ecuación 33-1}$$

- Cálculo del volumen del filtro

$$V = l a h \quad \text{Ecuación 34-1}$$

Dónde:

V = volumen del filtro m³

a = ancho del filtro m

l = largo del filtro m

h = altura del filtro m

- Cálculo del tiempo de retención

$$T_R = \frac{V_F}{Q} \quad \text{Ecuación 35-1}$$

Dónde:

Tr = tiempo de retención en h

V F = volumen del filtro en m³

Q = caudal a tratar en m³/h

CAPITULO II

2. MARCO EXPERIMENTAL

2.1. Localización

El presente estudio se realizó en la fábrica Lácteos San José ubicada en la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro provincia de Tungurahua. La zona en la que se encuentra ubicada la fábrica es una zona netamente ganadera por lo que podemos encontrar muchas otras fábricas que también elaboran lácteos.

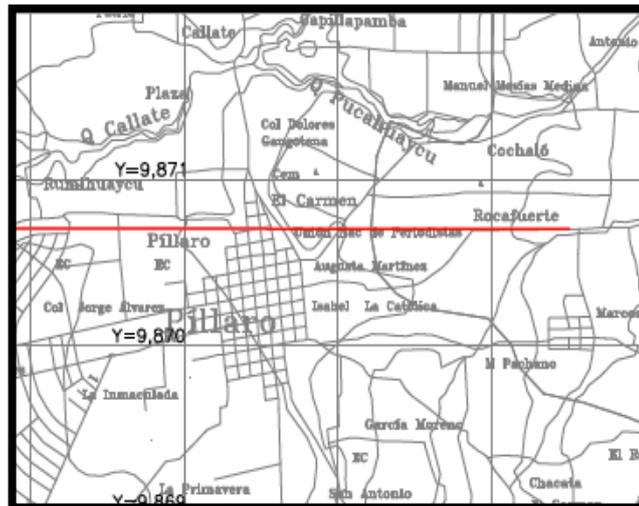


Figura 6-2: Localización de la fábrica Lácteos San José

Fuente: Instituto Geográfico Militar

2.2. Diagnóstico actual de la planta

Lácteos San José procesa 10000 litros de leche diarios que son recogidos de la zona por tanques lecheros. Estos 10000 litros son destinados para la elaboración de queso fresco y bebida láctea. Para elaborar dichos productos se requiere grandes volúmenes de agua, especialmente en el proceso de elaboración de queso. Esta agua es utilizada para la limpieza de equipos, utensilios, tanques de leche y limpieza misma de la planta.

Todas las aguas residuales de los diferentes procesos convergen en una caja de retención y luego son descargadas directamente al sistema de alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento.

2.3. Medición de caudal

Una vez que se identificó el punto donde convergen todas las aguas residuales se procedió a la medición del caudal, para esto nos basamos en el método volumétrico que consiste en tomar un cierto volumen de agua residual y determinar mediante la ayuda de un cronometro el tiempo que se demora tomar cierto volumen.

La medición del caudal es importante porque nos permite conocer el volumen de agua residual generado durante la jornada de trabajo; así como también nos permite realizar la planificación del muestreo.

La determinación del caudal se realizó durante los siete días de la semana y durante las 9 horas de trabajo con un intervalo de 10 minutos cada toma. Es importante conocer que el caudal en lácteos San José es muy variable presentándose un máximo caudal en la hora de la limpieza.

Mediante este procedimiento se conoció que lácteos San José genera un caudal promedio de 0.45 l/s lo que da como resultado un volumen equivalente a 14580 litros de agua residual generados durante las 9 horas de trabajo.

2.3.1. Materiales para la medición del caudal

- Un balde graduado de 2 litros
- Un cronometro
- Una libreta de apuntes

2.4. Muestreo

Planificar el muestreo es muy importante para lograr tomar una muestra representativa de las aguas residuales para después realizar la caracterización en el laboratorio y así conocer el grado de contaminación de las mismas.

Un correcto muestreo nos proporcionara información confiable acerca de la contaminación de las aguas. Por el contrario sino tenemos una muestra realmente significativa y representativa lo único que conseguiremos es obtener resultados inválidos; por tanto es el muestreo una parte importante de este proyecto de tesis ,ya que al realizarlo correctamente nos proporcionara datos reales y de esta forma se tomara decisiones acertadas en cuanto al diseño y tratamiento de las aguas residuales.

El tipo de muestreo que se realizo fue de tipo compuesto por la misma razón que la concentración de la carga contaminante es muy variable y se lo realizó en función del caudal. Durante la jornada de trabajo se fueron tomando diferentes alícuotas para obtener una muestra de 2 litros al final del día.

La primera alícuota se tomó de 7 de la mañana a 10 de la mañana debido a que el caudal en esas horas es constante ya que el personal solo se encuentra realizando la recepción de la leche y enfundando los quesos del día anterior. De 10 de la mañana a 3 de la tarde empiezan a trabajar en la elaboración de queso y bebida láctea en este momento el caudal es muy variable ya que durante la pasteurización de la leche y el moldeo de los quesos no utiliza mucha agua; una vez terminada la parada de quesos se procede al lavado de ollas, mesas y utensilios con lo que el caudal aumenta. Cada parada de quesos dura aproximadamente 30 minutos.

Finalmente de 3 a 4 de la tarde es donde se presenta un caudal máximo debido a que se realiza una limpieza general de todas las instalaciones y esta operación se la realiza mediante la ayuda de una bomba.

A continuación se muestra una tabla de cómo se planificó el muestreo para lograr obtener una muestra compuesta de 2 litros.

Tabla 11-2: Planificación del Muestreo

Lugar de Muestreo	Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Volumen de agua generado litros	% de toma	Volumen de muestra litros
Caja de retención	7-10am	X	X	X	X	3564	25,5	0,51
Caja de retención	10-3pm	X	X	X	X	7380	52,8	1,056
Caja de retención	3-4pm	X	X	X	X	3024	21,7	0,433
Volumen total de la muestra								2L

Fuente: Yolanda Haro, 2015

El muestreo se lo realizó durante 4 días de la semana y las muestras tomadas fueron llevadas al laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOC y al laboratorio de CESTA para realizar la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales y posteriormente en base a los resultados obtenidos realizar el tratamiento más idóneo.

2.4.1. Materiales para el muestreo

- Recipientes plásticos de 2 litros
- Guantes
- Mascarilla

2.5. Métodos y Técnicas

2.5.1. Métodos

El desarrollo de este proyecto de tesis es de carácter experimental utilizando procesos lógicos de inducción y deducción, ya que es necesario conocer el tipo de contaminantes presentes en las aguas residuales que son descargadas directamente al sistema de alcantarillado e identificar así los parámetros que se encuentran fuera de norma ; los cuales nos ayudara a determinar el tratamiento más adecuado y que se ajuste a las necesidades de la planta .

2.5.1.1 Inductivo

Para realizar el siguiente estudio se tomara el caudal en los puntos de descarga más representativos y en desfogue principal de la planta una vez por día durante los 5 días de la semana, con la finalidad de conocer el volumen de agua que se utiliza por día y también se tomaron muestras representativas del agua residual para posteriormente realizar los análisis correspondientes en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.5.1.2. Deductivo

El método deductivo en este estudio nos va a permitir dar solución al problema que genera descargar las aguas residuales directamente al alcantarillado ; planificando un sistema de tratamiento para dichas aguas en base a la deducción de los resultados de los análisis realizados a las aguas residuales .

2.5.1.3. Experimental

La parte experimental de este estudio se realizó al tomar las muestras de las aguas residuales y al realizar los análisis correspondientes, para de esta forma obtener resultados que nos ayuden a diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la fábrica Lácteos San José , consiguiendo que los parámetros que estén fuera de norma se ajusten a los establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para descargas líquidas al sistema de alcantarillado público.

2.6. Caracterización de las Aguas Residuales

Una vez realizado el muestreo, las aguas residuales fueron llevadas al laboratorio de Análisis técnicos de la Facultad de Ciencias y CESTA de la ESPOCH para realizar los correspondientes análisis físicos, químicos y microbiológicos.

2.6.1. Técnicas empleadas para la caracterización de las aguas residuales

2.6.1.1. Medición del pH

- Calibrar el pH-metro
- Colocar en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo de vidrio.
- 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.
- Anotar el valor de la lectura en el protocolo de trabajo.
- Enjuagar el electrodo con agua destilada.

2.6.1.2. Medición de conductividad

- Encender el multiparámetro
- Seleccionar el modo para medir la conductividad
- Colocar en un vaso de precipitación una muestra de agua residual
- Sumergir el electrodo
- Leer el valor que se muestra en la pantalla.

2.6.1.3. Determinación de la turbiedad

- Encender el turbidímetro
- Tomar con cuidado el frasco para la muestra y enjuagar con agua destilada
- Colocar la muestra de agua residual en el frasco hasta donde señala la marca y tapar.
- Limpiar el exterior del frasco y colocar en la celda del turbidímetro.
- Leer el valor que indica en la pantalla.

2.6.1.4. *Medición de sólidos disueltos*

- Encender el multiparámetros
- Seleccionar en la pantalla sólidos disueltos
- Colocar en un vaso de precipitación una muestra de agua residual
- Introducir el electrodo del multiparámetros
- Leer el valor que se muestra en la pantalla.

2.6.1.5. *Medición de sólidos sedimentables*

- Homogenizar la muestra e inmediatamente llenar el cono Imhoff hasta la marca de 1 L.
- Dejar que la muestra repose por 45 min.
- Se remueven suavemente las paredes con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos a las paredes.
- Dejar reposar por otros 15 min y se registra el volumen de sólidos Sedimentables en el cono como: mg/L.

2.6.1.6. *Medición de sólidos totales*

- Tarar una capsula por 30 minutos
- Medir 25ml de muestra y colocar en la capsula
- Llevar a baño maría hasta evaporación a sequedad
- Luego llevar la muestra a la estufa por 30 minutos a 103 C
- Luego pesar la cápsula
- Realizar los cálculos correspondientes utilizando la sig. Ecuación

2.6.1.7. *Medición de DQO*

- Realizar una dilución de la muestra en este caso de 10ml aforar a 100ml con agua destilada.
- Tomar 2ml de la muestra diluida y colocar en un vial con solución digestiva para DQO.
- Sujetar el vial por la tapa y voltear varias veces para mezclar. El vial de la muestra se calienta mucho durante la mezcla.
- Calentar durante 2h en el digestor

- Esperar que se enfríe y proceder a la medición.
- Para la medición seleccionar en la pantalla del equipo HACH programas almacenados
- Seleccionar el test de DBO435
- Limpiar bien el exterior del vial y colocar el blanco en el soporte HACH DR 2800, cerrar la tapa protectora y encerar.
- Limpiar bien el exterior del vial de la muestra y colocar el tubo en el soporte HACH DR cerrar la tapa protectora.
- Leer el resultado que aparece en la pantalla.

2.6.1.8. *Medición de DBO5*

- Realizar una dilución de la muestra en este caso se colocó 10ml de la muestra y aforar a 100ml con agua destilada.
- Colocar los 100ml de la muestra diluida en los frascos empleados para este método
- Añadir 3ml de solución rica en nutrientes
- Tapar el frasco con un corcho
- Colocar en el mismo una pepita de KOH el mismo que se encarga de absorber otros gases con la final que el único gas que sea leído y luego sea traducido como DBO sea el CO₂
- Tapar y colocar la muestra en el gasométrico
- Ir leyendo los datos cada día para al final sacar un promedio

2.6.1.9. *Determinación de coliformes fecales*

Una cantidad predeterminada de muestra es filtrada a través de un filtro membrana el cual retiene las bacterias encontradas en la muestra.

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 $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 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.

2.6.2. Resultados obtenidos en la caracterización

Tabla 12-2: Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos de AR

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
Temperatura	C	16.7	18.6	18.9	18.7	18.22
Ph	UND	6.2	6.38	5.7	6.3	6.18
Turbidez	NTU	554	1538	796	1215	1026
Conductividad	μS	1607	1582	3270	5120	2895
Solidos Disueltos	mg/L	507	660	1240	2290	1174
Solidos Totales	mg/l	9616	4652	5648	6387	6575.8
Solidos sedimentables	mg/L	1.5	2	2.2	1.5	1.8
DQO	mg/L	6735	5265	6950	6710	6415
DBO	mg/L	2640	3240	2992	3116	2997
Grasas y aceites	mg/L	.....	300	.....	300	306
Coliformes fecales	UFC/100ml	.....	160000	.....	160000	160000

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y CESTA, 2015

2.6.3. Comparación de los resultados obtenidos en la caracterización con la normativa ambiental

Tabla 13-2: Comparación entre los valores obtenidos en la caracterización y los parámetros establecidos por la normativa ambiental para descarga al alcantarillado

Parámetro	Unidad	Resultado obtenido en la caracterización	Límites de descarga al alcantarillado
Ph	UND	6.18	5-9
Turbidez	NTU	1026	
Conductividad	μS	2895	
Solidos sedimentables	mg/L	1.8	20
Solidos Totales	mg/L	6575.8	1600
DQO	mg/L	6415	500
DBO	mg/L	2997	250
Grasas y aceites	mg/L	300	70
Coliformes fecales	UFC/100ml	160000	2000

Fuente: Yolanda Haro, 2015

2.7. Pruebas de Tratamiento de las Aguas Residuales

Luego de obtener los resultados de la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales se procedió a realizar ensayos para tratar el agua y así conseguir reducir la carga contaminante de la misma y ajustar los parámetros a lo establecido en el TULAS. Los tratamientos que se simularon a nivel de laboratorio fueron: test de jarras, aireación y filtración.

2.7.1. Test de jarras

Este ensayo se lo realizó con el propósito de encontrar la dosificación exacta del coagulante para conseguir clarificar el agua y por ende descontaminar la misma.

El test de jarras simula lo que es el proceso de coagulación- floculación que consiste en añadir un coagulante al agua, el mismo hará que las partículas que se encuentran disueltas en la mismas y que son tan diminutas se agrupen formando los llamados flocs que por sus peso empiezan a precipitar; de esta forma el agua se clarifica y la carga contaminante se reduce.

En este caso los ensayos que se realizaron fueron con policloruro de aluminio y otro con sulfato de aluminio y cal para determinar cuál de los 2 da mejores resultados.

Se necesitó 40 litros aproximadamente de agua residual debido a que se realizaron varios ensayos tanto con el policloruro de aluminio como con el sulfato de aluminio y cal , es decir se iba añadiendo dosis progresivas de cada coagulante a un litro de agua hasta determinar la dosificación exacta del coagulante a utilizar.

Antes de proceder a realizar los ensayos se efectuaron algunas pruebas iniciales para conocer el grado de contaminación inicial del agua. Se realizó una prueba de DQO, se midió la turbiedad, el pH y la conductividad.

2.7.1.1. Policloruro de aluminio

a) Materiales

- pH-metro
- turbidímetro
- jarras de plástico de 2 litros
- barrillas de agitación
- pipetas
- pera de succión
- espátula
- balanza analítica

b) Sustancias y reactivos

- Policloruro de aluminio al 25%
- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Agua destilada
- Agua residual

c) Procedimiento

- Medir el pH y la turbidez de la muestra de agua residual.
- Ajustar el pH añadiendo hidróxido de sodio 0.2N.
- Colocar 1 litro de agua residual cruda en cada una de las 5 jarras
- Añadir dosis progresivas de coagulante.
- Ejecutar la mezcla rápida durante 5 minutos.
- Suspender la agitación.
- Dejar que las muestras sedimenten durante 30 minutos.
- Luego tomar una muestra de cada una de las jarras y determinar el pH y turbidez.

d) Resultados obtenidos en el ensayo

Tabla 14-2: Resultados de la turbidez en el ensayo con Policloruro de Aluminio

Numero de jarra	ml de PAC al 25%	Turbidez antes del tratamiento con PAC al 25%	Turbidez después de 30 min de reposo
1	2	1035	300
2	4	1035	40
3	4.5	1035	31
4	5	1035	16
5	6	1035	33
6	10	1035	985
7	15	1035	900

Fuente: Yolanda Haro,2015

Como podemos ver en la tabla, al dosificar 5 ml de policloruro de aluminio al 25% la turbidez disminuye desde 1035 NTU hasta 16 NTU ; no sucede así al dosificar cantidades mayores o menores a los 5 ml por lo que se determina que se debe tratar el agua residual dosificando 5ml por cada litro de agua a tratar con lo que se conseguirá clarificar el agua residual y también reducir la carga contaminante.

Posteriormente se realizó una prueba de DQO para verificar la reducción de la carga contaminante y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 15-2: Resultados de la turbiedad y del DQO obtenidos en la coagulación con el policloruro de aluminio al 25% y una dosificación de 5ml

Parámetro	Unidad	Antes de la coagulación	Después de la coagulación
DQO	mg/l	6710	4010
TURBIEDAD	NTU	1035	16

Fuente: Yolanda Haro,2015

2.7.1.2. Sulfato de aluminio

a) materiales

- pH-metro
- turbidímetro
- jarras de plástico de 2 litros
- barrillas de agitación
- pipetas
- pera de succión
- espátula
- balanza analítica

b) reactivos

- sulfato de aluminio al 10%
- cal
- Agua destilada
- Agua residual

c) Procedimiento

- Medir el pH y la turbidez de la muestra de agua residual.
- Ajustar el pH añadiendo cal
- Colocar 1 litro de agua residual cruda en cada una de las 5 jarras
- Añadir dosis progresivas de coagulante.
- Ejecutar la mezcla rápida durante 5 minutos.
- Suspender la agitación.
- Dejar que las muestras sedimenten durante 30 minutos.
- Luego tomar una muestra de cada una de las jarras y determinar el pH y turbidez.

d) Resultados

Tabla 16-2: resultados de la turbidez en el ensayo con sulfato de aluminio al 10% y cal

Numero de jarra	ml de sulfato de aluminio al 10%	Turbidez antes del tratamiento con sulfato de aluminio	Turbidez después de 30 min de reposo
1	5	1035	1000
2	10	1035	800
3	15	1035	187
4	20	1035	1000
5	25	1035	1035
6	30	1035	1035

Fuente: Yolanda Haro , 2015

Como podemos ver en la tabla al dosificar 15ml de sulfato de aluminio la turbiedad disminuye desde 1035 NTU hasta 137 NTU . Al dosificar valores menores y mayores a este no se obtienen resultados, por lo que se tomó una muestra de esta jarra para realizar una prueba de DQO y verificar la disminución de la carga contaminante.

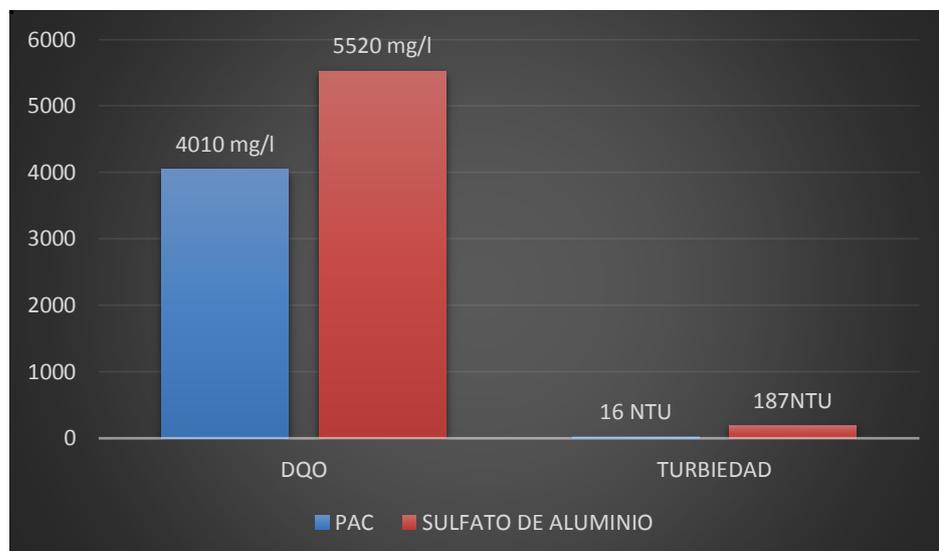
Tabla 17-2: Resultados obtenidos de la turbiedad y DQO en la coagulación con sulfato de aluminio al 10 % y cal

PARÁMETRO	UNIDAD	ANTES DE LA COAGULACIÓN	DESPUÉS DE LA COAGULACIÓN
DQO	mg/l	6710	5520
TURBIEDAD	NTU	1035	187

FUENTE: Yolanda Haro, 2015

2.7.1.3. Comparación de los resultados obtenidos entre el policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio y cal

Gráfica I: Comparación de los resultados obtenidos después de la coagulación con el PAC al 25% y sulfato de aluminio



Fuente: Yolanda Haro, 2015

Como se puede observar en la gráfica notamos mejores resultados con el Policloruro de Aluminio ya que este nos permite tener una menor turbiedad y menor disminución de carga orgánica, no sucede así con el sulfato de aluminio que se sólo consigue bajar la turbiedad hasta 178 NTU y hasta 5520 de DQO.

Con el PAC al se consigue una remoción del 40% de la carga orgánica y una remoción de la turbiedad del 98 % mientras tanto con el sulfato de aluminio solo se remueve en un 18 % la carga orgánica. Por tanto para el proceso de coagulación floculación se utilizara como Policloruro de Aluminio al 25% y se dosificará 5ml por cada litro de agua residual.

2.7.1.4. Cálculo del requerimiento diario de Dosificación del PAC

Experimentalmente se determinó la dosificación exacta de policloruro de aluminio al 25 % siendo la misma de:

5ml de PAC / L de agua residual

Por tanto para determinar el requerimiento diario se tomara en cuenta el volumen total de agua a tratar considerando el caudal de diseño:

$$V_{PAC} = \frac{5ml_{PAC}}{L_{agua\ residual}} \times \frac{17100\ L\ agua\ residual}{día} \times \frac{1\ l}{1000ml} = 85.5L_{PAC} / día$$

Se requerirá entonces 85,5 litros de una solución de policloruro de aluminio al 25 % para tratar un volumen total de 17.1 m³ de agua residual al día. Para obtener la solución de policloruro de aluminio se deberá disolver 25 Kg policloruro de aluminio sólido y aforar en 100litros de agua destilada.

2.7.2. Aireación

Este ensayo fue necesario para lograr descontaminar aún más el agua residual ; con la aireación lo que se consigue es aclimatar a los mo que se encuentran presentes en el agua los mismo que se encargaran de reducir la carga contaminante debido a que la materia orgánica que se encuentra presente en el AR les sirve de alimento , es así que llega un punto en que la materia

ya no será suficiente para que los mismos se alimente y por ende el proceso termina .El aire fue suministrado mediante la ayuda de una bomba y un tiempo de ocho horas. Durante eso proceso lo que se consiguió es eliminar olores principalmente y la disminución del DQO.

2.7.2.1. *Materiales y equipos*

- Bomba
- Tanque de 20 litros
- Energía eléctrica
- Tomacorriente de 220

2.7.2.2. Procedimiento

- Colocar 8 litros de agua clarificada en el tanque de 20 litros
- Conectar la bomba al tomacorriente de 220
- Colocar la manguera que sale de bomba dentro del agua que se va airear.
- Encender la bomba
- Dejar un tiempo de 8 horas de aireación
- Realizar una prueba de DQO para constatar el proceso ha sido eficiente.

2.7.2.3. *Resultados*

Tabla 18-2: Resultados obtenidos en el proceso de aireación

PARÁMETRO	UNIDAD	ANTES DE LA AIREACIÓN	DESPUÉS DE LA AIREACIÓN
DQO	mg/l	4010	2140
TURBIEDAD	NTU	16	16

Fuente: Yolanda Haro, 2015

2.7.3. Filtración

En vista que la carga contaminante aún no se ha reducido para que cumpla con los límites permisibles para descarga al alcantarillado público se implementó un filtro a base de grava y carbón activado. El filtro se simuló de manera tal que el agua pase lo más lento posible para de esta manera los materiales de los que está hecho el filtro absorban los contaminantes.

2.7.3.1. Materiales

- Botella de plástico tesalia de 6 litros
- Grava
- Carbón
- Tijeras

2.7.3.2. Procedimiento

- Se cortó la botella por la base y en la tapa se realizó orificios muy pequeños con la ayuda de un calvo
- Se invirtió la botellas y se colocó un lecho de carbón y finalmente un lecho de grava
- Se procedió a filtrar el agua aireada
- Se tomó una muestra del agua filtrada se procedió a realizar un prueba de DQO y la medición de la turbidez

2.7.3.3. Resultados obtenidos en la filtración

Tabla 19-2: Resultados obtenidos en el proceso de filtración

PARÁMETRO	UNIDAD	ANTES DE LA FILTRACION	DESPUÉS DE LA FILTRACION
DQO	mg/l	2140	187
TURBIEDAD	NTU	16	16

Fuente: Yolanda Haro, 2015

2.8. Caracterización del agua tratada

Una vez tratada el agua se realizó la caracterización física, química y microbiológica para conocer los valores obtenidos después del tratamiento y los mismos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20-2: Resultados obtenidos en la caracterización del agua tratada

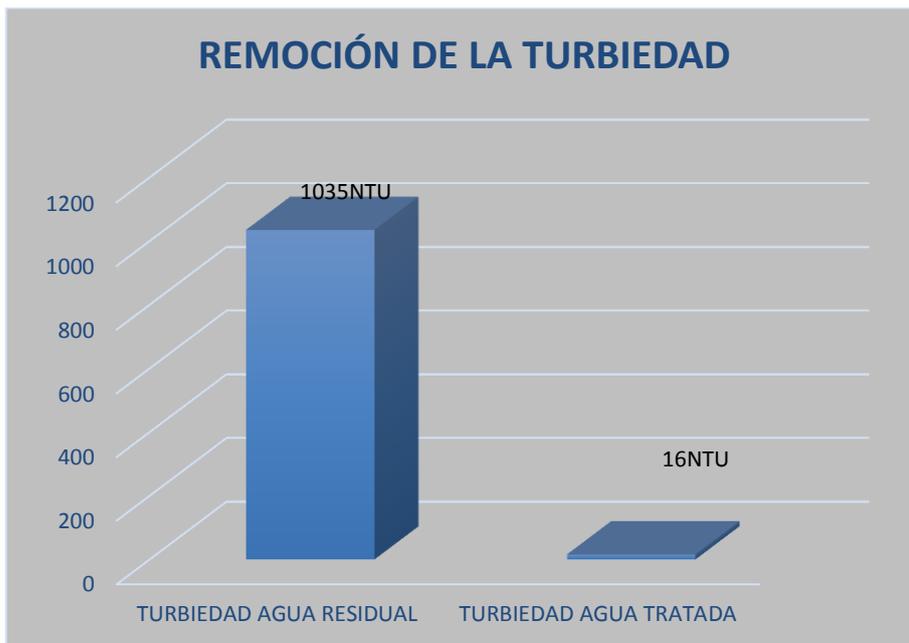
Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	C	18
Ph	UND	6.4
Turbidez	NTU	16
Solidos totales	mg/L	
DQO	mg/L	187
DBO	mg/L	102
Grasa y aceites	mg/L	
Coliformes fecales	UFC/100ml	

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y CESTA, 2015

2.9. Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento

- Turbiedad

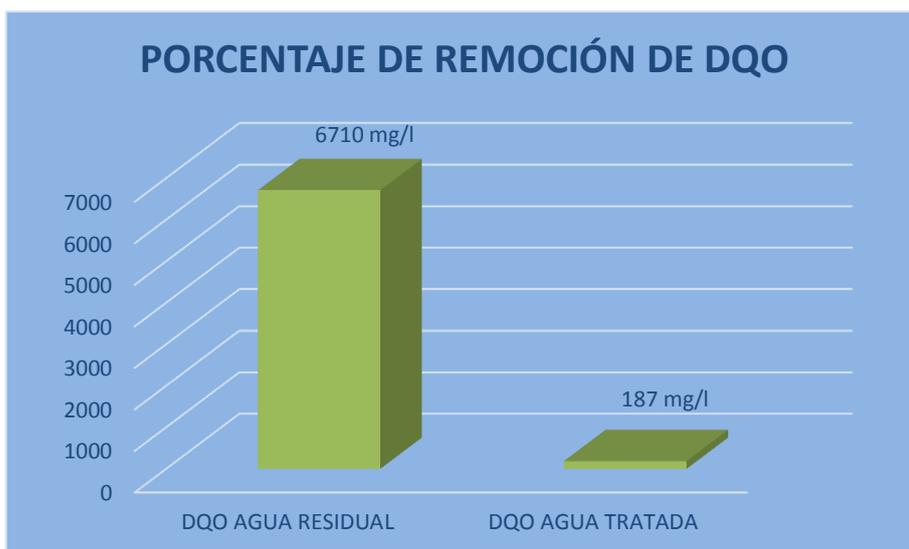
Gráfica 2-2: Comparación de la turbiedad antes y después del tratamiento del AR



Fuente: Yolanda Haro, 2015

➤ DQO

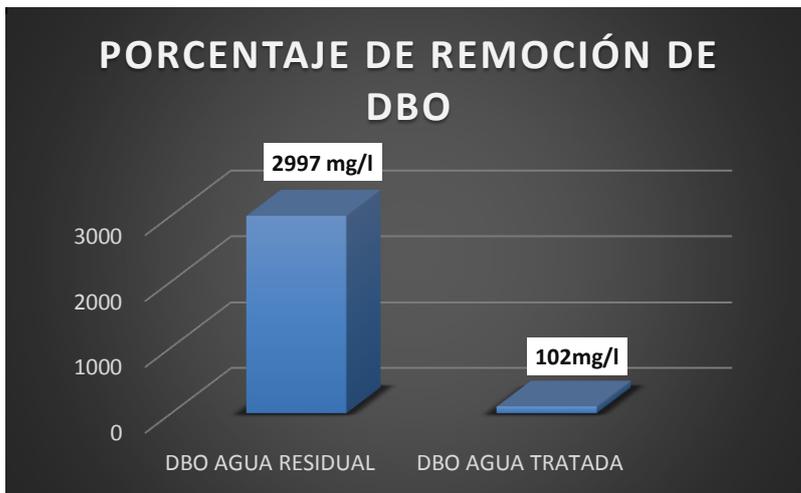
Gráfica 3-2: Comparación del DQO antes y después del tratamiento del AR



Fuente: Yolanda Haro, 2015

➤ **DBO**

Gráfica 4-2: Comparación del DBO antes y después del tratamiento del AR



Fuente: Yolanda Haro, 2015

➤ **GRASAS Y ACEITES**

Gráfica 5-2: Comparación los valores de grasas y aceites antes y después del tratamiento del AR



Fuente: Yolanda Haro, 2015

CAPITULO III

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1. Consideraciones de diseño

Luego de conocer que la fábrica descarga directamente las aguas residuales al alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento y en base a las características físicas, químicas y microbiológicas que presentan las mismas se realiza el dimensionamiento del sistema de tratamiento del agua residual de la fábrica lácteos San José y se toma en cuenta las siguientes consideraciones: la planta diseñada va a operar en un sistema Bach es decir en 2 paradas; la primera será durante las primeras 4.5 horas trabajo y la siguientes durante las 4.5 últimas horas.

3.2. Cálculos de Ingeniería

3.2.1. Caudal de diseño

$$Q = 0.45 \frac{l}{s} * \frac{32400 s}{9h} = \frac{14580 l}{9h} * \frac{1m^3}{1000 l} = \frac{14.58 m^3}{9 h}$$

$$Q = \frac{14.58 m^3}{9 h} = 1.6 \frac{m^3}{h}$$

Para calcular el caudal de diseño se requiere un factor de mayorización en este caso utilizaremos 20 %.

$$Q_D = Q + QFM$$

$$Q_D = 1.6 + 1.6(0.2)$$

$$Q_D = 1.9 \frac{m^3}{h} = 5.28 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 17.1 \frac{m^3}{9h}$$

3.2.2. Diseño del canal rectangular

Las dimensiones del canal rectangular serán las siguientes:

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

$$h = 0.3$$

➤ Cálculo del área

$$A = b * h$$

$$A = (0.4)(0.3)$$

$$A = 0.12m^2$$

➤ Cálculo del radio hidráulico

$$R = \frac{b * h}{b + 2(h)}$$

$$R = \frac{0.4 * 0.3}{0.4 + 2(0.3)} = 0.12m$$

➤ Velocidad del H₂O residual

$$V = \frac{1}{h} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$n=0.013$ de tablas para canales revestidos con hormigón

$$V = \frac{1}{0.013} * 0.1^{\frac{2}{3}} * 0.0005^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.38 \frac{m}{s}$$

3.2.3. Diseño de Rejillas

Se tomarán las siguientes consideraciones de la tabla 3-1:

Ancho=0.4 m

Separación entre barras =20mm =0.02m =W

Espesor de la barra = 6mm = 0.06m = e

$\theta = 45^\circ$ Con respecto a la horizontal

➤ Cálculo del área entre barras

$$Q = A * V$$

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

$$A = \frac{5.28 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0.38} = 1.39 \times 10^{-3} m^2 = 0.00139 m^2 = 0.0014 m^2$$

- Cálculo de la Longitud sumergida de la rejilla en el H₂O residual

$$L_S = \frac{h \max}{\text{sen } \theta}$$

Se calculará primero el nivel máximo al que estarán sumergidas las rejillas

$$n \max = \frac{Q}{V * B}$$

$$n \max = \frac{5.28 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0.38 \frac{m}{s} * 0.4m} = 3.47 \times 10^{-3} m$$

$$n \max = 0.0035 m$$

$$L_S = \frac{0.0035 m}{\text{sen } 45} = 4.9 \times 10^{-3}$$

$$L_S = 0.0049 m \approx 0.005m$$

- Cálculo del número de barras en rejilla

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

$$N_b = \frac{0.4 - 0.02}{0.02 - 0.06}$$

$$N_b = 27$$

3.2.4. Diseño del tanque homogenizador

Como es de conocimiento la planta operara en un sistema Bach por tanto se debe calcular el volumen que se tratará en cada parada:

$$V = Q * t$$

$$V = 1.9 \frac{m^3}{h} * 4.5 h = 8.6m^3$$

➤ Cálculo del Área

$$V = A_H * h$$

$$A_H = \frac{V}{h} = \frac{8.6m^3}{2m} = 4.3m^2$$

➤ Cálculo del Radio

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

$$r = \sqrt{\frac{4.3}{\pi}}$$

$$r = 1.2 \text{ m}$$

➤ Cálculo del Diámetro

$$\phi = 2r$$

$$\phi = 2.4m$$

➤ Cálculo del Volumen

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi(1.2)^2 m^2 (2m)$$

$$V = 9m^3$$

➤ Cálculo de la potencia requerida para el mezclado

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

$G = 250 \text{ s}^{-1}$ tomado de la tabla IV

para operaciones típicas de mezclado

$$P = 250^2 (1,102 \times 10^{-3}) * 9$$

$$P = 620 \text{ W}$$

$$P = 620 \text{ W} * 1 \frac{HP}{745,7 \text{ W}}$$

$$W = 0,83 \text{ HP}$$

3.2.5. Diseño del sedimentador circular

- Cálculo de área

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

Donde el valor de la carga superficial C_S es de la tabla tomado de la tabla VIII

$$A = \frac{1,9 \frac{m^3}{h}}{0,83 \frac{m^3}{m^2 h}} = 2,3 m^2$$

- Cálculo del radio

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

$$r = \sqrt{\frac{4,3 m^2}{\pi}}$$

$$r = 0,86 m$$

- Cálculo del diámetro

$$\emptyset = 2r$$

$$\phi = 2 * (0.86 \text{ m})$$

$$\phi = 1.72 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen de la parte cilíndrica

Para una altura de 3,6m tomado de la tabla V diseño para sedimentadores circulares.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi (0.86 \text{ m})^2 (3.6 \text{ m})$$

$$V = 8.4 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen de la parte cónica del sedimentador

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3}$$

$$V = \frac{\pi * (0.86)^2 * 0.3}{3} = 0.23 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen total del sedimentador

$$V_{total} = V_{cilindrica} + V_{conica}$$

$$V_{total} = 8.4 \text{ m}^3 + 0.23 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = 8.63 \text{ m}^3$$

- Cálculo del tiempo de retención

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

$$Tr = \frac{8,63}{1,9}$$

$$Tr = 4,5h$$

En este caso el tiempo de retención es muy alto por lo que tomamos valores de la tabla VI en donde tenemos que el tiempo de retención típico es de 2h, tiempo suficiente para que los flóculos formados precipiten al fondo del mismo.

- Cálculo del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos

$$R_{SST} = \frac{Tr}{a + b * Tr}$$

Donde $a = 0,0075$ y $b = 0,014$ son constantes empíricas tomados de la tabla VII

$$R_{SST} = \frac{2}{0,0075 + 0,014 * 2}$$

$$R_{SST} = 56,3\%$$

- Cálculo del porcentaje de remoción de DBO5

$$R_{DBO} = \frac{Tr}{a + b * Tr}$$

Donde $a = 0,018$ y $b = 0,02$ tomados de la tabla VII

$$R_{DBO} = \frac{2}{0,018 + 0,020 * 2}$$

$$R_{DBO} = 34,5\%$$

Por tanto el tiempo de retención de 2h será suficiente para permitir que el 56,3 % de los sólidos finamente divididos se posen en el fondo del tanque y exista una disminución de la carga orgánica de entre el 34,5%.

- Cálculo de la potencia requerida para la operación de coagulación –floculación.

Para calcular la potencia tomaremos en cuenta que las paletas giraran a 200 rpm; este valor se lo determinó experimentalmente con el equipo de jarras por tanto tenemos:

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

Primero determinamos el gradiente de velocidad mediante la ecuación 16.

$$G = 0,25 * n^{1,25}$$

n = 200rpm determinado mediante el test de jarras

$$G = 0,25 * 200^{1,25}$$

$$G = 188 \text{ s}^{-1}$$

$$P = 188^2 (1,102 \times 10^{-3}) * 8,63$$

$$P = 311,1 \text{ W}$$

$$P = 311,1 \text{ W} * 1 \frac{\text{HP}}{745,7 \text{ W}}$$

$$P = 0,42 \text{ HP}$$

3.2.6. Diseño del tanque de aireación

- Cálculo del volumen

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

Dónde:

$$\Phi = 5 \text{ días de la tabla}$$

$$Q = 8,6 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

$$S_0 = 4,01 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

$$S = 2,14 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

$$K_d = 0,06 \text{ (d}^{-1}\text{) de la tabla}$$

$$X = 4 \text{ (kg/m}^3\text{) de la tabla}$$

$$Y = 0,6 \text{ de la tabla}$$

$$V = \frac{5 \cdot 8,6 \cdot 0,6 \cdot (4,01 - 2,14)}{4(1 + 0,06(5))}$$

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

Por tanto las dimensiones del tanque de aireación serán:

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

$$a = 1,5$$

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

➤ Cálculo eficiencia

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

Dónde:

$$S_0 = 4,01 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

$$S = 2,14 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

$$E = \frac{(4,01-2,14)}{4,01} \times 100$$

$$E = 47\%$$

➤ Cálculo de tiempo de retención hidráulica

$$T_R = \frac{V_a}{Q}$$

Dónde:

$$V_a = 9 \text{ (m}^3\text{)}.$$

$$Q = 1,9 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$T_R = \frac{9}{1,9}$$

$$T_R = 4,7h$$

➤ Cálculo de requerimiento de oxígeno

Se emplea la siguiente expresión:

$$WO_2 = [a(S_o - S)Q + b * X * V]$$

Dónde:

$$a = 0.63 \text{ kgO}_2\text{/kgDBO)}.$$

$$b = 0.28 \text{ KgO}_2\text{/KgSSV}^* \text{ d)}$$

$$WO_2 = [0,63(4,01 - 2,14)8,6 + 0,28 * 4 * 9]$$

$$WO_2 = 20,2KgO_2/día$$

- Cálculo de transferencia de oxígeno a través de difusor

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

Dónde:

N_0 = Tasa transferencia de oxígeno en condiciones de referencia (20 °C y oxígeno disuelto igual a cero, 1.5 y 2.0 KgO₂/KW*h)

α = Factor de correlación para la transferencia de oxígeno para la purga (0.4 y 0.8)

β = Factor de correlación para la salida y tensión superficial (0.9 y 0.98)

C_L = Concentración de oxígeno disuelto (según Aceirvala 1937 y Mara 1376 es de 0.5 a 2.0 mg/L)

C'_{sw} = concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura en un tanque de aireación a una temperatura y altura (mg/L).

$$N = 2 * [0,8 \left(\frac{0,98 * 6 - 2}{9,17} \right) * (1.024^{(18-20)})]$$

$$N = 0,64kg \frac{O_2}{KWh}$$

- Cálculo de cantidad de aire requerido

$$A_{Req} = \frac{Q * DBO}{\%O_2 \text{ en el aire} * E * \rho_{aire}}$$

Dónde:

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

E = Eficiencia de difusión

ρ_{aire} = densidad del aire

$$A_{Req} = \frac{8,6*4,01}{0,231*0,60*1,2}$$

$$A_{Req} = 206,5 \frac{Kg}{dia}$$

➤ Cálculo de potencia requerida

$$P_w = \frac{WO_2}{24 * N}$$

Dónde:

P_w = Potencia total requerida KW

WO_2 = Requerimiento de oxígeno KgO₂/kw dia

N = Tasa de transferencia total de oxígeno (KgO₂/kw*h)

$$P_w = \frac{20,2}{24 * 0,64}$$

$$P_w = 1,32 KW * \frac{1,341HP}{1KW} = 1,8 HP = 2HP$$

3.2.7. Diseño del Filtro Convencional Lento

- Cálculo del área del filtro

$$AF = \frac{Q}{\text{Tasa de filtración}}$$

Dónde:

Tasa de filtración = $14 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d} = 0,58 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ tomado de la tabla II

$$AF = \frac{1,9}{0,58}$$

$$AF = 3\text{m}^2$$

- Cálculo de la longitud de filtro

Hacemos uso de la ecuación 33

$$l = \frac{3}{1,5}$$

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

Por tanto las dimensiones del filtro serán:

Ancho= 1,5m

Largo= 2 m

Altura = 3

- Cálculo del volumen

$$V = 1 \text{ a h}$$

$$V = (2)(1,5)(3)$$

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

- Cálculo del tiempo de retención

$$T_R = \frac{V_F}{Q}$$

$$T_R = \frac{9}{1,9}$$

$$T_R = 4,7h$$

- Espesor de los lechos filtrantes

Lecho de arena = 1,20m

Lecho de grava = 0,45 m

Valores tomados del libro de Jorge Arboleda Valencia diseño para filtros lentos

3.3. Resultado del dimensionamiento de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales

3.3.1. Canal rectangular

Tabla 21-3: Resultados del canal rectangular

Parámetros	Simbología	Unidad	Resultado
Ancho	B	M	0,4
Altura útil	H	M	0,3
Área	A	m ²	0,12
Radio hidráulico	RH	M	0,12

Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.3.2. Rejillas

Tabla 22-3: Resultados del dimensionamientos del sistema de rejillas

Parámetros	Simbología	Unidad	Resultado
Velocidad de aproximación del agua	Vap	m/s	0,38
Ancho	B	M	0,40
Separación entre barras	W	m	0,02
Espesor de la barra	E	m	0,006
Inclinación respecto a la horizontal	A	grados	45
Numero de barras en la rejilla	Nb	u	27

Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.3.3. Tanque homogeneizador circular

Tabla 23-3: Resultados del dimensionamiento del tanque homogeneizador

Parámetros	Simbología	Unidad	Resultado
Volumen	V _H	m ³	9
Área	A _H	m ²	4,3
Radio	R _H	m	1,2
Diámetro	D _H	m	2,4
Altura	H _H	m	2
Potencia requerida para el mezclado	P	hp	0,83

Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.3.4. Sedimentador

Tabla 24-3: Resultado del dimensionamiento del sedimentador circular

Parámetros	Simbología	Unidad	Resultado
Volumen	V_s	m^3	8,63
Área	A_s	m^2	2,3
Radio	R_s	m	0,86
Diámetro	D_s	m	1,72
Altura	H	m	3,6
Potencia requerida para la floculación coagulación	P	hp	0,42
Porcentaje de remoción de solidos suspendidos	RSST	%	56,3
Porcentaje de remoción de DBO5	R DBO5	%	34,5

Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.3.5. Tanque de aireación

Tabla 25-3: Resultados del dimensionamiento del tanque de aireación

Parámetros	Simbología	Unidad	Resultado
Volumen	V_s	m^3	9
Largo	L	m	2
Ancho	A	m	1,5
Altura	H	m	3
Eficiencia	E	%	47
Potencia requerida para la aireación	P	hp	2

Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.3.6. Filtro convencional lento

Tabla 26-3: Resultados del dimensionamiento del filtro convencional lento

Parámetros	Simbología	Unidad	Resultado
Volumen	V_F	m^3	9
Área	A_F	m^2	3
Largo	L	m	2
Ancho	A	m	1,5
Altura	H	m	3
Altura del lecho de arena	H_a	m	1,20
Altura del lecho de grava	H_g	m	0,45

Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.4. Propuesta

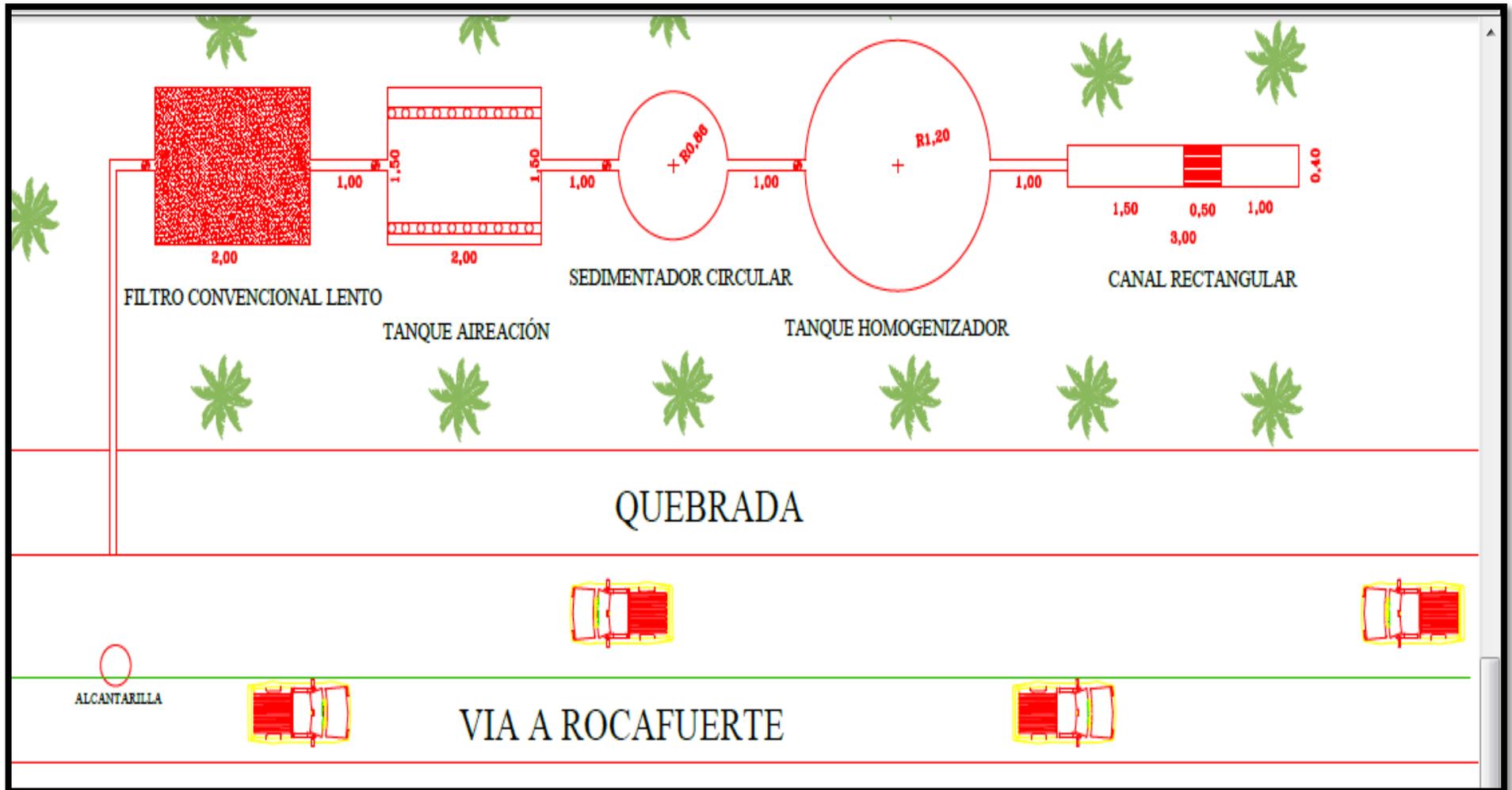
En base al estudio realizado en el cual el agua de lácteos San José no cumple con los parámetros exigidos para la descarga al alcantarillado público se presenta la siguiente propuesta para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales que permitirá ajustar los parámetros a lo citado en el libro TULAS, libro VI, anexo 1, recurso agua, descarga al alcantarillado público.

La misma consta de un sistema de rejillas de limpieza manual con un número de barras de 27 que estará dispuesto sobre un canal rectangular con una inclinación de 45 grados con respecto a la horizontal en el cual se retendrán fundas plásticas, palos y fracciones de queso. Luego el agua pasara a un tanque homogenizador en el cual se conseguirá tener una mezcla homogénea en cuanto a la concentración de carga orgánica de agua residual y así mismo se conseguirá repartir un caudal constante a las siguientes operaciones.

El agua homogenizada pasará a un tanque sedimentador circular en donde se dosificará policloruro de aluminio al 25% en una dosis de 5ml/ l de agua a tratar y se llevara a cabo el proceso de coagulación-floculación. Una vez generados los flóculos los mismos sedimentaran en el fondo del tanque para posteriormente mediante el sistema de drenaje ser llevados hasta la era de secado.

El agua clarificada pasara a un tanque de aireación en donde se suministrará aire con la ayuda de un compresor y mediante difusores porosos circulares ubicados en el fondo del tanque. En esta etapa se generan pequeñas cantidades de lodo y se conseguirá eliminar olores. Finalmente el agua aireada pasara por un filtro lento convencional compuesto de arena fina y grava con un espesor de lecho de 1.20 m y 0.45m respectivamente con la finalidad de reducir aún más la carga contaminante y lograr ajustar los parámetros a lo que dicta la normativa ambiental vigente en el Ecuador.

Propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales para la fábrica Lácteos San José



3.5. Presupuesto

3.5.1. Presupuesto General de la Planta de Tratamiento

Tabla 27-3: Presupuesto General de la Planta de Tratamiento

1	Desbroce y Limpieza	m2	135	2	270,00
2	Replanteo y nivelación	m2	135,00	2,47	333,45
3	Suministro e Instalación de tubería de PVC d=4"	ml	60,00	7,82	469,20
4	Encofrado y Desencofrado	m2	83,00	11,00	913,00
5	Acero de Refuerzo $f_y=4200\text{Kg/cm}^2$	Kg	1.000,00	1,92	1.920,00
6	Replantillo de Hormigón Simple $f'_c=180\text{Kg/cm}^2$	m3	3,15	123,55	389,18
7	Hormigón Simple $f'_c=210\text{Kg/cm}^2$ con Aditivo	m3	9,50	144,96	1.377,12
8	Alisado Interior con piedra Carborundo	m2	75,00	4,30	322,50
9	Alisado de piso mas impermeabilizante e=1,50cm	m2	10,00	9,50	95,00
10	Alisado exterior e=1,50cm mortero 1:3	m2	85,00	7,97	677,45
11	Escalones d=16mm	u	25,00	4,50	112,50
12	Rejilla d=12mm	u	27,00	2,50	67,50
13	Difusores	ml	4,00	50,00	200,00
14	Ripio triturado dp=25mm capa de 0,45m	m3	1,35	31,10	41,99
15	Arena Lavada capa de 1,20m	m3	3,60	35,40	127,44
16	Motor de 0,8 HP	u	1,00	700,00	700,00
17	Motor 0,5 HP	u			

			1,00	500,00	500,00
18	Compresor 2HP	u	1,00	3.000,00	3.000,00
19	Paletas	u	2,00	50,00	100,00
20	Válvula de globo		5,00	22,40	112,00
21	Codos 90° PVC d=4"	u	6,00	5,85	35,10
22	Uniones 4"	u	4,00	3,95	15,80
23	Malla Electrosoldad R-196 (6-10mm) x 10	m2	45,00	6,70	301,50
SUBTOTAL					12.080,73
IVA 12%					1.449,69
TOTAL					13.530,42

Fuente: Ing. Civil John Salinas, 2015

3.5.2. Costo del PAC al día

Tabla 28-3: Costo del PAC al día

Cantidad PAC requerida al día (Kg)	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
25	0,75	18,15

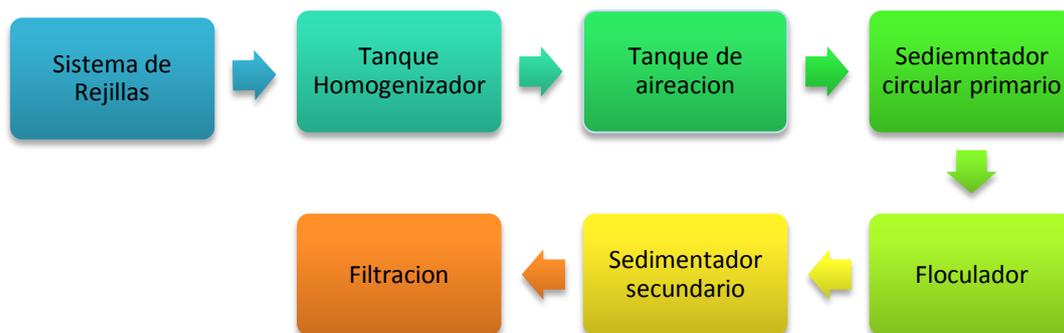
Fuente: Yolanda Haro, 2015

3.6. Alternativa al sistema de tratamiento propuesto

El sistema anterior se eligió en función de que los costos de construcción son bajos al utilizar una unidad de homogenización, seguido de una unidad de sedimentación en donde se añade PAC para clarificar el agua, un tanque de aireación y un filtro.

Tomando en consideración que el costo de la dosificación de PAC utilizado diariamente es de 18,15 dólares y el costo anual resulta de 6624,75 dólares se puede optar por plantear otra alternativa al sistema de tratamiento, con la finalidad de reducir costos en cuanto a la utilización del PAC al airear el agua antes de añadir el coagulante –floculante y aprovechar los mismos para la construcción de una unidad adicional de sedimentación y un floculador para de estar realizar una sola inversión en cuanto a costos de construcción y no se tenga que seguir utilizando cantidades grandes de PAC que repercuten en el alto costo de su utilización diaria.

Por tanto el sistema de tratamiento alternativo quedará de la siguiente manera:



3.7. Análisis y Discusión de los resultados

Al conocer que los parámetros físicos, químicos y microbiológicos como : DQO, DBO, grasas y aceites, turbiedad, sólidos totales, coliformes fecales del agua residual presentan valores elevados y fuera de norma como se muestra en las tablas 12-2 y 13-2 se seleccionó el tratamiento más adecuado que nos permitió eliminar los contaminantes presentes en el agua principalmente de tipo orgánico . Durante el tratamiento fue necesario realizar ensayos como el test de jarras con Policloruro de aluminio (PAC) al 25% y sulfato de aluminio al 10% para encontrar el coagulante a utilizar y la dosificación exacta del mismo ;obteniéndose mejores resultados con el PAC como se puede observar en la gráfica 1-2 .También se simularon procesos de aireación y filtración para conocer como estos procesos ayudaban a descontaminar el agua obteniéndose valores favorables, los mismos que se muestran en las tablas 18-2 y 19-2 respectivamente.

Finalmente mediante el tratamiento realizado se logró obtener una remoción del 98,5 % para la turbiedad , 97% para el DBO y DQO y 99% para grasas y aceites como se observa en las gráficas 2-2, 2-3, 2-4 y 2-5 y ajustar los parámetros a lo establecido en la normativa ambiental del TULSMA ,libro VI, anexo I ,recurso agua, descarga para alcantarillado público y cuyos resultados lo podemos encontrar en la tabla 20-2 .

CONCLUSIONES

- Al conocer que lácteos San José descarga directamente las aguas residuales al sistema de alcantarillado público se diseñó un sistema de tratamiento, el mismo que permitirá reducir la carga contaminante del agua residual y ajustar los parámetros a lo establecido en el TULSMA ; la planta operará en un sistema Bach de dos paradas en el cual la primera parada se trabajara con el volumen de agua generado durante las 4 horas y media de trabajo y la siguiente parada se tratara el agua de las últimas 4.5 horas de trabajo.
- Mediante la caracterización de las aguas residuales se logró conocer sus características físicas, químicas y microbiológicas como son principalmente: turbiedad, pH, DBO, DQO, grasas y aceites y coliformes fecales. Dichas características presentan valores elevados y fuera de los parámetros establecidos en el TULSMA ,libro VI, anexo I , descarga para alcantarillado.
- Se identificó mediante la caracterización que las aguas residuales presentan alta carga orgánica contaminante lo que se ve reflejado en los altos valores de DBO y DQO como son 6710 mg/l y 2997 mg /l respectivamente . En caso de parámetros como aceites y grasa, coliformes fecales también están fuera de norma; además las aguas presentan una elevada turbidez debido a la presencia de sólidos disueltos y presenta una elevada conductividad.
- En base a los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas residuales se escogió el sistema de tratamiento idóneo que nos permitió reducir la carga contaminante del agua residual con un porcentaje de remoción del 98 % de materia orgánica; el mismo consta de un sistema de rejillas en el cual quedarán retenidos todos los sólidos como fundas plásticas y fracciones de queso principalmente; luego se realizará una homogenización del caudal para distribuir un caudal uniforme a las siguientes operaciones. Después el agua será tratada con policloruro de aluminio al 25 % en un tanque sedimentador cuya dosificación será de 5ml de solución por cada litro de agua a tratar; en esta operación el agua se clarificará por precipitación de los flóculos formados. Después pasará a un tanque de aireación en donde se suministrará oxígeno por medio de un compresor de 3Hp hasta un sistema de tuberías perforadas conocidas como difusores y finalmente el agua pasará por un filtro lento de arena y grava de

1.20m y 0,45m de espesor con lo cual el agua consigue ser descontaminada para su descarga al alcantarillado público cumpliendo con los parámetros exigidos por la normativa ambiental

- Se validó el sistema de tratamiento escogido mediante una segunda caracterización; en este caso ya del agua tratada. Con el sistema de tratamiento seleccionado se logró clarificar el agua cuya turbidez era elevada de 1035 UNT hasta 16 UNT; así mismo los olores desaparecieron y se logró reducir los valores de DQO desde 6710 mg/l hasta 185 mg/l y de la DBO desde 2997mg/l y hasta 102 mg/l y por lo mismo hubo una reducción de los demás parámetros como sólidos totales, sedimentables.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda dar capacitación a los trabajadores sobre el cuidado del agua para de esta forma optimizar el uso de la misma y crear conciencia sobre la importancia de cuidar este recurso natural.
- Se recomienda capacitar a los trabajadores sobre el correcto manejo y disposición de los residuos sólidos para evitar el taponamiento de tuberías.
- Implementar buenas prácticas ambientales para de esta forma evitar un consumo exagerado de agua y optimizar el uso de fundas plásticas al momento de enfundar los quesos, con lo se consigue realizar un producción más limpia sin la generación de grandes volúmenes de agua residual y de desechos sólidos.
- Se recomienda realizar periódicamente el mantenimiento de las instalaciones de la planta de tratamiento para evitar inconvenientes a futuro.
- Se recomienda el uso de mascarillas, guantes el momento de preparar y dosificar el Policloruro De Aluminio.
- Se recomienda realizar periódicamente análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua tratada para constatar que la planta está operando eficazmente.
- Se recomienda antes de dosificar el policloruro de aluminio, medir el pH del agua para saber si requiere ajustar a un pH neutro ; garantizando de esta forma que el proceso de coagulación floculación se efectúe correctamente.

- Se recomienda tomar en consideración la alternativa propuesta al sistema de tratamiento con la finalidad disminuir costos a futuro en la utilización del PAC ,puesto que resulta más eficiente realizar una inversión mayor en la construcción de más unidades de tratamiento que a futuro seguir invirtiendo dinero en la utilización de químicos para el proceso de coagulación –floculación, ya que por tratarse de una agua cruda existe mayor consumo de PAC, el mismo que podría disminuir al realizar primero la aireación del agua, luego una sedimentación y posteriormente la coagulación.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA J., *Teoría y Práctica de Purificación de Agua*, 3ra. ed, Bogotá-Colombia, Editorial Mc. Graw-Hill, 2000, pp. 160-168.

CRITES-TCHOBANOGLIOUS., *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*, 2da. ed. Bogotá-Colombia, Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, 2000, pp. 33-67, 300-333.

FAIR-GEYER., *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*, 2da. ed, México DF-México , Editorial Limusa, 1994, pp. 76-85.

HERMIDA J., *Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional Colta. (TESIS)* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador, 2014., pp. 60-100

LLANOS N. *Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria de Productos Lácteos Píllaro. (TESIS)* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Biotecnología Ambiental, Riobamba, Ecuador, 2013., pp. 40-80

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.

RAMALHO, R., *Tratamiento de Aguas Residuales*, 2da. ed. Quebec – Canadá, Editorial Reverte S.A, 1993, pp. 92, 146, 147.

RIGOLA PEÑA, M., *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Procesos y Residuales*, Barcelona-España. Editorial Marcombo S.A, 2005, pp. 118.-148

ROMERO, J., *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*, 3ra. Ed. Bogotá-Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004, pp. 129.

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)., Quito – Ecuador, 2015,MAE, Libro VI, Anexo I, Tabla 9.

VALENCIA J., *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de bovinos en el Camal Frigorífico Municipal de Riobamba.* (TESIS) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador, 2012., pp. 34

ANEXO A

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES RECURSO AGUA

TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA).

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

➤ *Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público*

- Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:
 - a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
 - b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
 - c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
 - d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
 - e) Fosgeno, cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas.

- El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma.

El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

- Toda descarga al sistema de alcantarillado deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos a continuación:

TABLA A. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	250
Demanda Química de	D.Q.O.	mg/l	500

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Oxígeno			
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	<i>VISIBLE</i>		AUSENCIA
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	Ph		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendedos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Acidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1

- Los responsables (propietario y operador) de todo sistema de alcantarillado deberán dar cumplimiento a las normas de descarga contenidas en esta Norma. Si el propietario (parcial o total) o el operador del sistema de alcantarillado es un municipio, éste no podrá ser sin excepción, la Entidad Ambiental de Control para sus instalaciones. Se evitará el conflicto de interés.

ANEXO B: MEDICIÓN DEL CAUDAL

Hora	Volumen(l)	Tiempo(s)	Caudal (l/s)
7:00	1,075	5	0,22
7:10	1	3,2	0,31
7:20	1	2,8	0,36
7:30	1	2,9	0,34
7:45	1,05	2,9	0,36
7:50	1	3,1	0,32
8:00	1	2,8	0,36
8:10	0,92	2,7	0,34
8:20	0,95	2,9	0,33
8:30	0,97	2,7	0,36
8:40	0,97	2,8	0,35
8:50	0,95	2,9	0,33
9:00	1	3,1	0,32
9:10	1	2,8	0,36
9:20	0,92	2,7	0,34
9:30	1,05	3,4	0,31
9:40	1,125	3,3	0,34
9:50	1,15	3,3	0,35
9:55	1,2	3,3	0,36
10:00	1,5	33	0,05
10:10	1,05	14	0,08
10:20	1,2	2,5	0,48
10:30	1,7	2	0,85
10:40	1,7	1,4	1,21

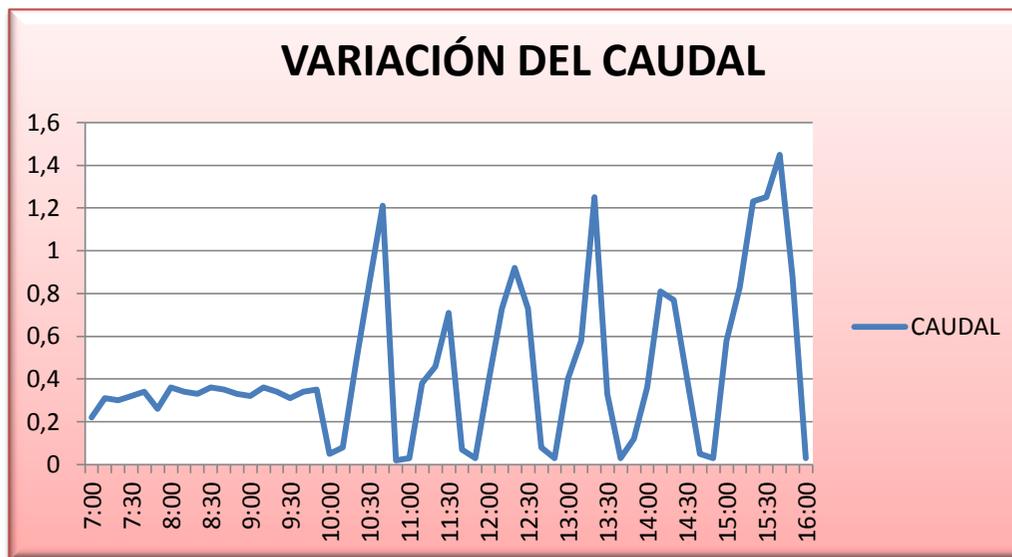
10:50	1	56	0,02
11:00	1	36	0,03
11:10	1,03	2,7	0,38
11:20	1,1	2,4	0,46
11:30	1,06	1,5	0,71
11:40	1,05	15,63	0,07
11:50	1,05	32,19	0,03
12:00	1,03	2,67	0,39
12:10	1,1	1,5	0,73
12:20	1,1	1,2	0,92
12:30	1,02	1,4	0,73
12:40	1,05	14	0,08
12:50	1,05	35	0,03
13:00	1,05	2,6	0,40
13:10	1,05	1,8	0,58
13:20	1,5	1,2	1,25
13:30	1	3	0,33
13:40	1,08	43	0,03
13:50	1,09	9	0,12
14:00	1,08	3	0,36
14:10	1,7	2,1	0,81
14:20	1,7	2,2	0,77
14:30	1	2,5	0,40
14:40	1,05	23	0,05
14:50	1	40	0,03

14:56	1,09	2,8	0,39
15:00	1,05	1,8	0,58
15:10	1	1,2	0,83
15:20	1,03	1	1,23
15:30	1	0,8	1,25
15:40	1	0,76	1,45
15:50	1,05	1,2	0,88
15:55	1,09	2,3	0,47
16:00	1,05	42	0,03
		PROMEDIO	0,45

Fuente: Yolanda Haro, 2015

ANEXO C

GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DEL CAUDAL



Fuente: Yolanda Haro, 2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO		
(a) Caudal lento (b) Caudal medio (c) Caudal máximo	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	FACULTAD DE CIENCIAS	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
		Yolanda Haro	Lámina	Escala:	Fecha
			1		Junio 2015

ANEXO D

VARIACIÓN DEL CAUDAL



(a)



(b)



(c)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Yolanda Haro	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO		
(d) Caudal lento (e) Caudal medio (f) Caudal máximo			Lámina	Escala:	Fecha
	2		Junio 2015		

ANEXO E

MEDICIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO



(a)



(b)

<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/>Certificado <input type="checkbox"/>Aprobado <input type="checkbox"/>Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/>Información <input type="checkbox"/>Preliminar <input type="checkbox"/>Continuación </p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
<p>(a) Determinación del tiempo en tomar cierto volumen</p> <p>(b) Medición del volumen tomado</p>		<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p>			
		<p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>Lámina</p>	<p>Escala:</p>	<p>Fecha</p>
		<p>Yolanda Haro</p>	<p>3</p>		<p>Junio 2015</p>

ANEXO F

MUESTREO COMPUESTO



(a)



(b)

<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
<p>(a) Alícuotas tomadas en diferentes horas</p> <p>(b) Muestra compuesta</p>	<p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación</p>		<p>Yolanda Haro</p>	<p>Lámina</p>	<p>Escala:</p>	Fecha
			<p>4</p>		<p>Junio 2015</p>

ANEXO G

COAGULACIÓN -FLOCULACIÓN



(a)

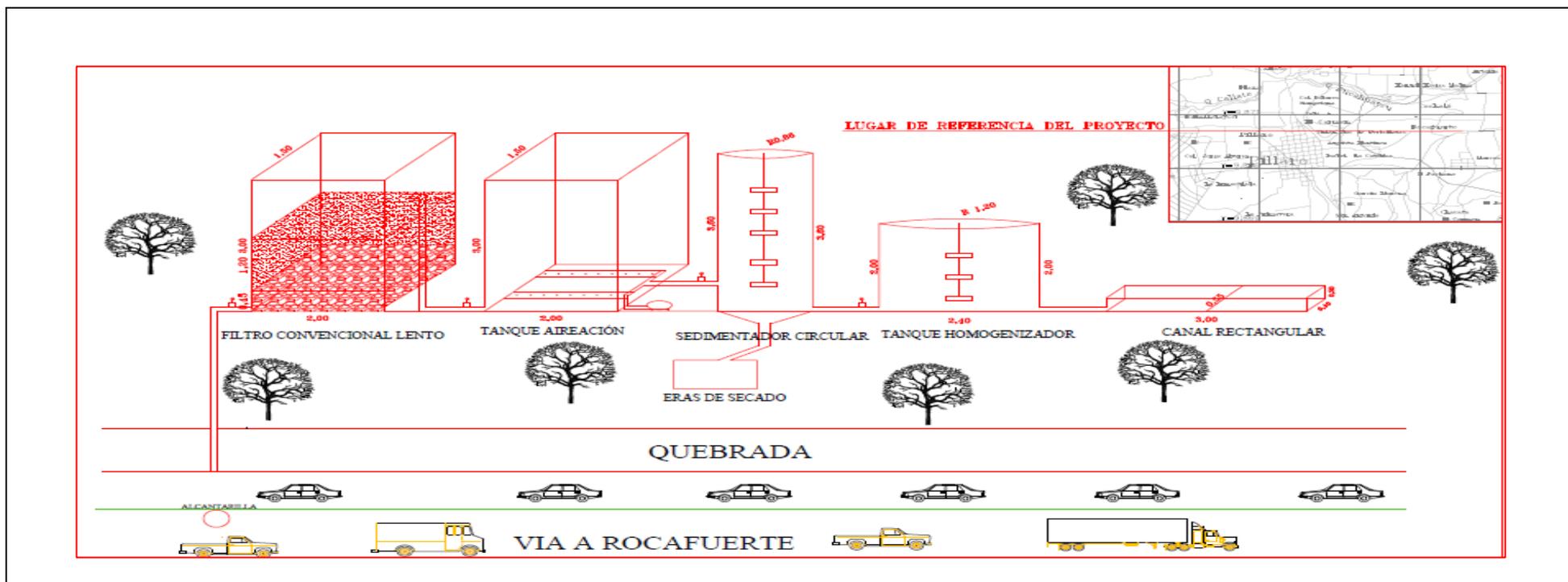


(b)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO			
(a) resultados obtenidos en el proceso de coagulación-floculación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala:	Fecha	
			ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	5		Junio 2015
			Yolanda Haro			

ANEXO H

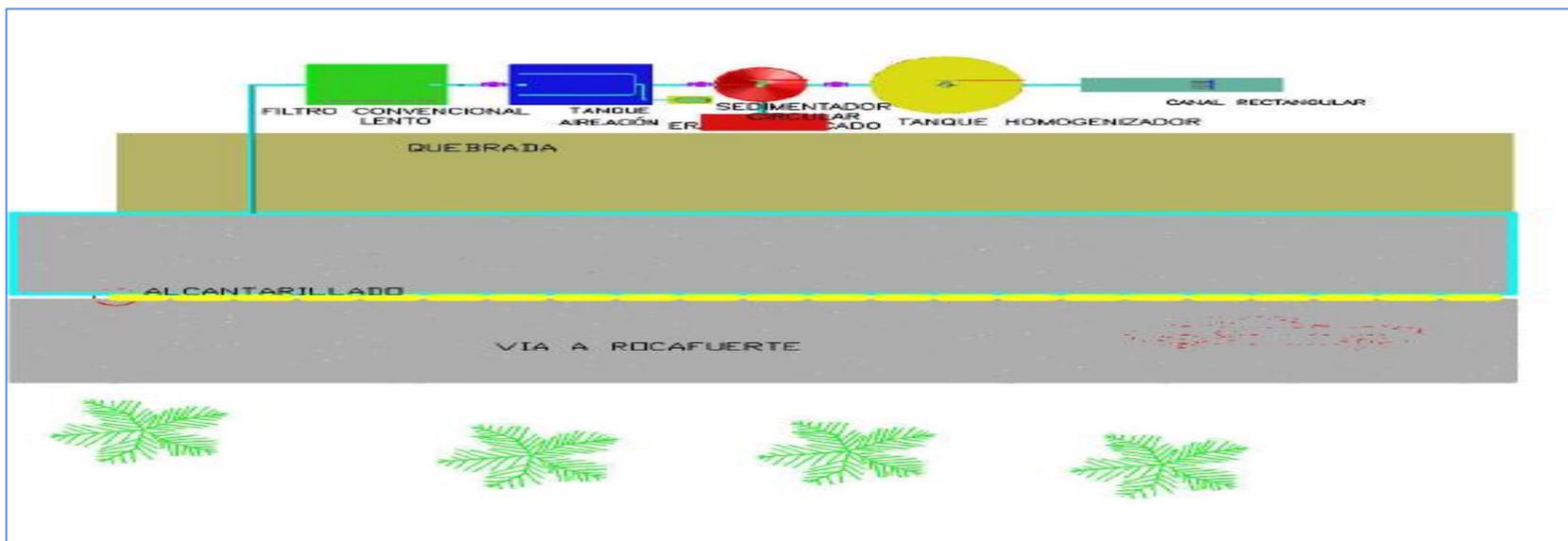
PLANTA DE TRATAMIENTO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO								
VISTA FRONTAL	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	FACULTAD DE CIENCIAS									
		ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1525 1185 1686 1249">Lámina</td> <td data-bbox="1686 1185 1848 1249">Escala:</td> <td data-bbox="1848 1185 2083 1249">Fecha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1525 1249 1686 1311">6</td> <td data-bbox="1686 1249 1848 1311"></td> <td data-bbox="1848 1249 2083 1311">Junio 2015</td> </tr> </table>			Lámina	Escala:	Fecha	6		Junio 2015
		Lámina	Escala:	Fecha							
6		Junio 2015									
Yolanda Haro											

ANEXO I

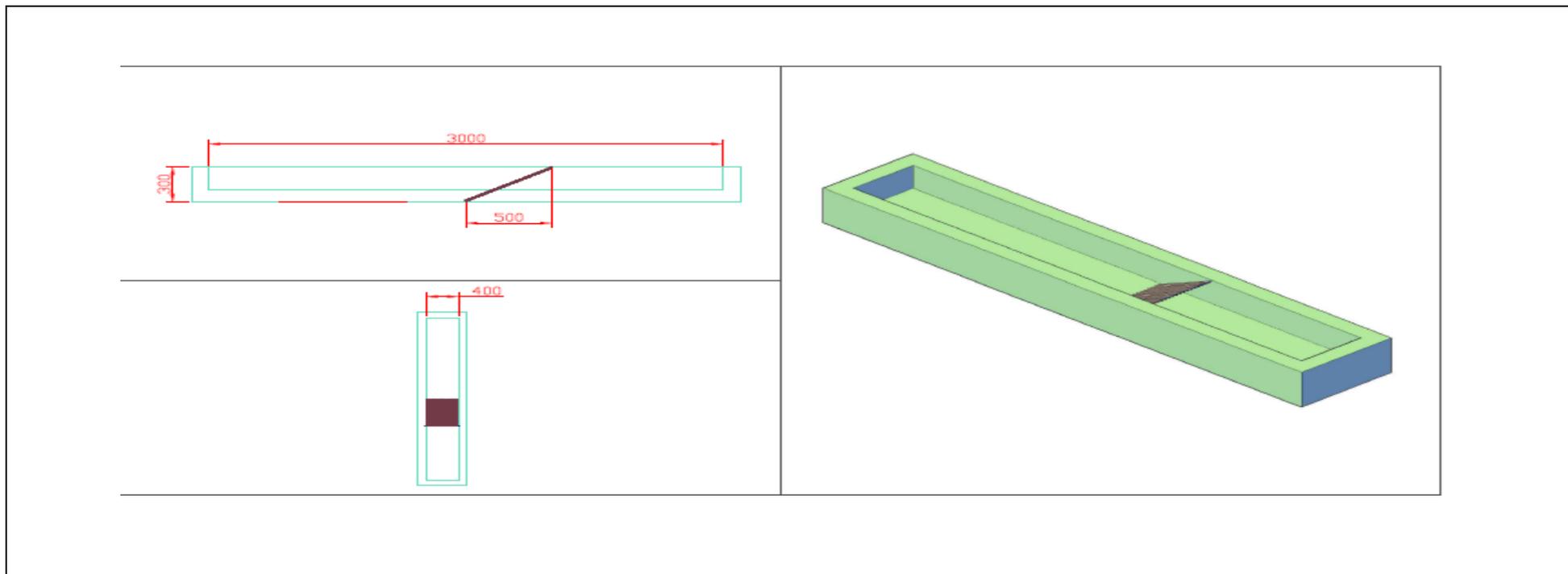
PLANTA DE TRATAMIENTO



NOTAS		<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
VISTA PLANTA	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación </p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	Lámina	Escala:	Fecha
		<p>Yolanda Haro</p>	7		Junio 2015

ANEXO J

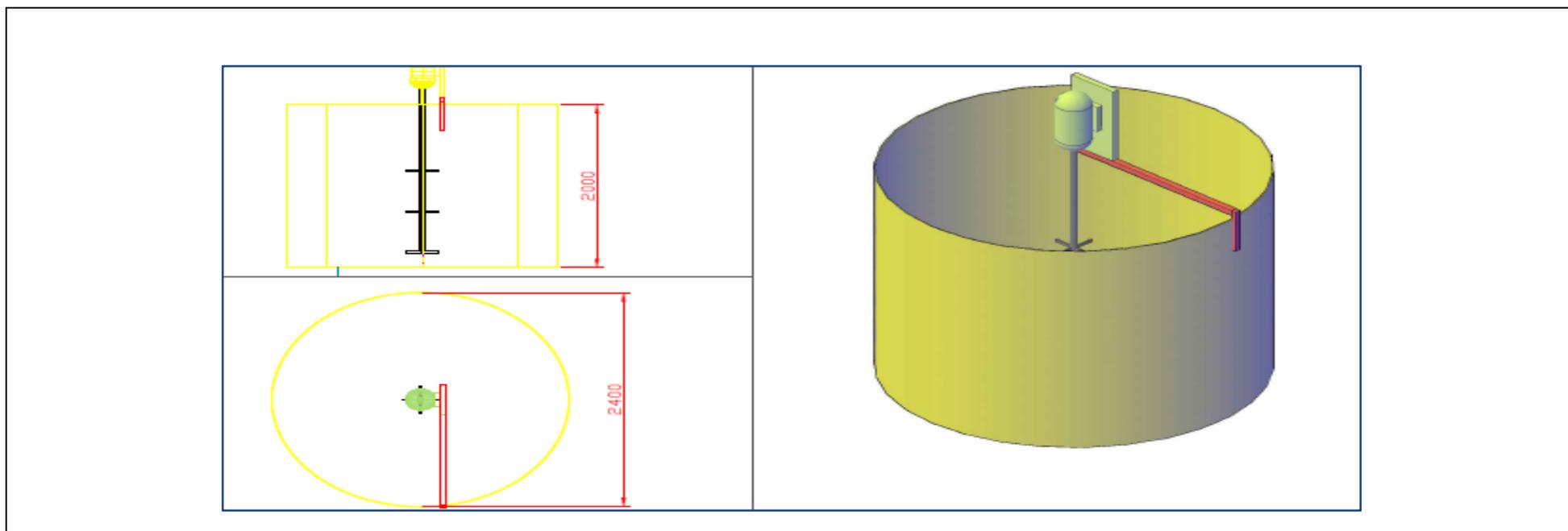
CANAL RECTANGULAR



<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación </p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Yolanda Haro</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
<p>CANAL RECTANGULAR</p>			<p>Lámina</p> <p>8</p>	<p>Escala:</p>	<p>Fecha</p> <p>Junio 2015</p>

ANEXO K

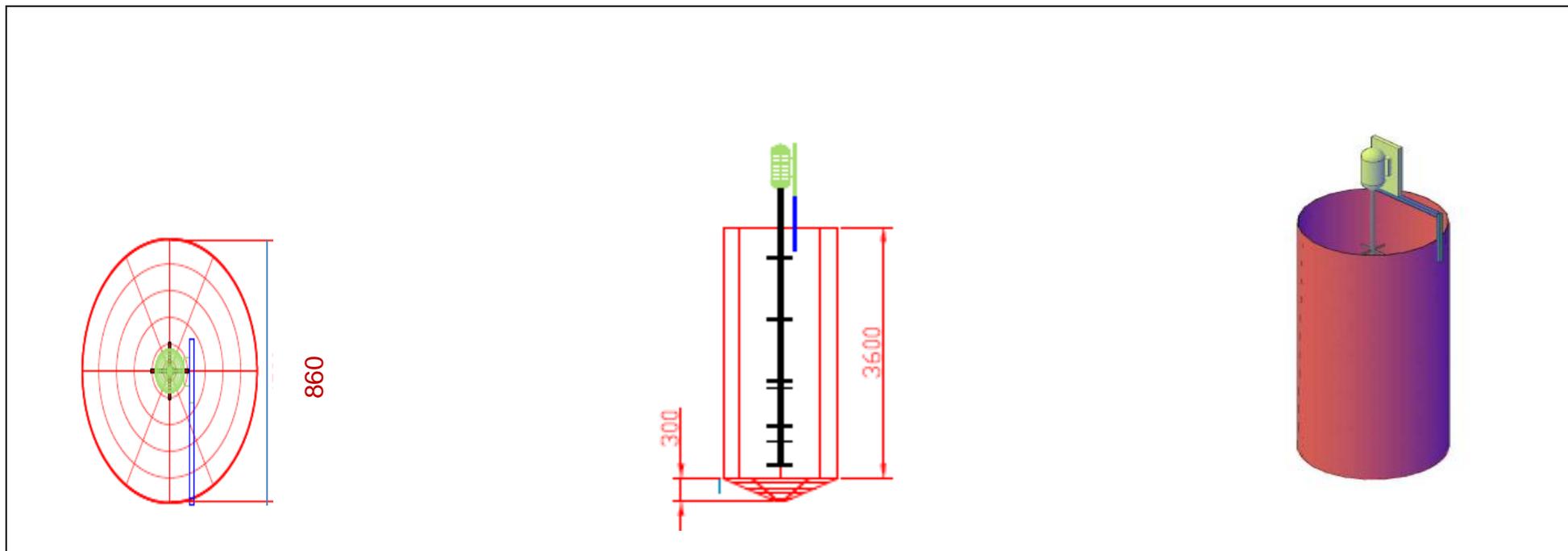
TANQUE HOMOGENIZADOR



NOTAS	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación </p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Yolanda Haro</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
TANQUE HOMOGENIZADOR			Lámina	Escala:	Fecha
		9		Junio 2015	

ANEXO L

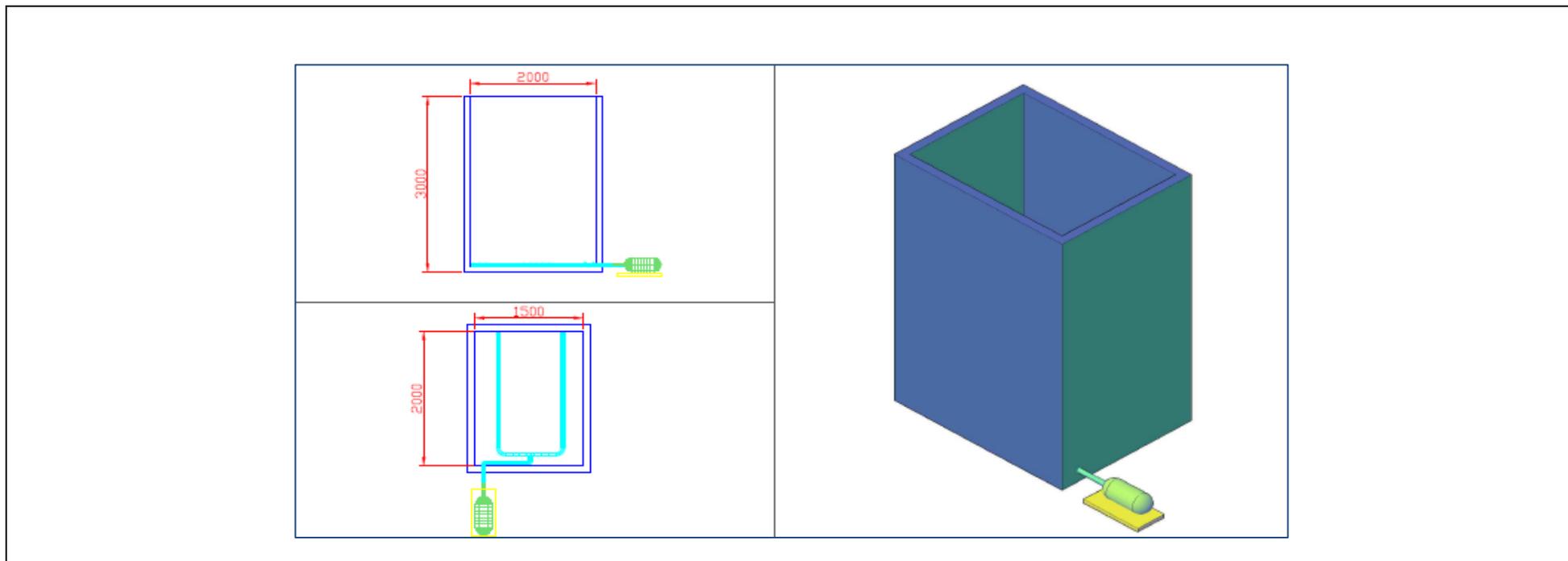
SEDIMENTADOR CIRCULAR



NOTAS	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Yolanda Haro</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>			
SEDIMENTADOR CIRCULAR			Lámina	Escala:	Fecha	
			10		Junio 2015	

ANEXO M

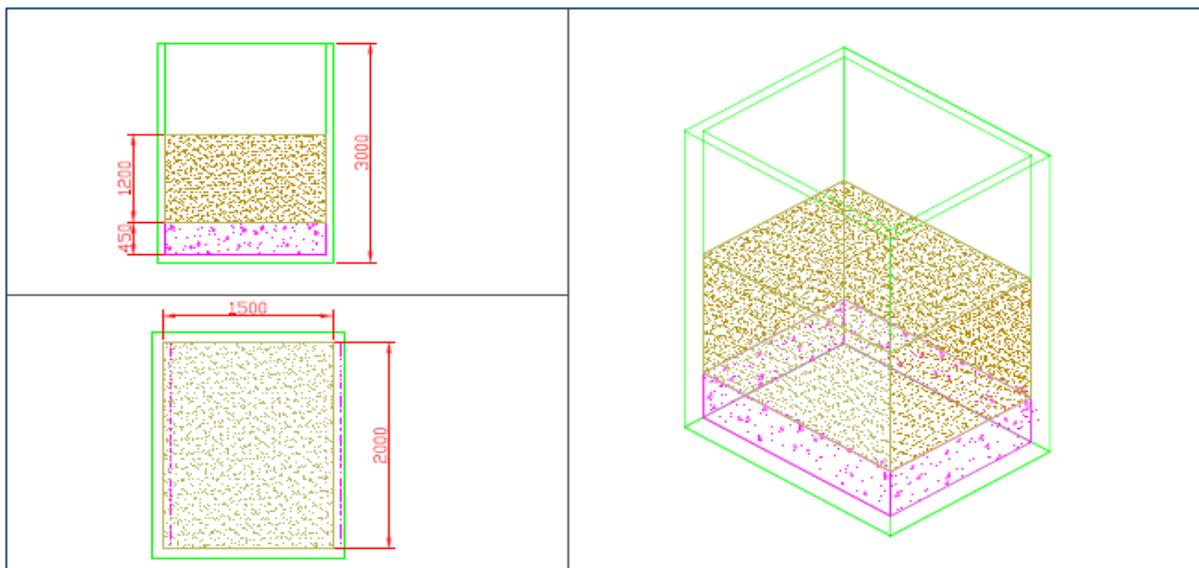
TANQUE DE AIREACIÓN



<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación </p>	<p> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Yolanda Haro </p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
<p>SEDIMENTADOR CIRCULAR</p>			<p>Lámina</p> <p>11</p>	<p>Escala:</p>	<p>Fecha</p> <p>Junio 2015</p>

ANEXO N

FILTRO CONVECCIONAL LENTO



<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación </p>	<p> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Yolanda Haro </p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN JOSÉ DEL CANTÓN PÍLLARO</p>		
<p>FILTRO CONVENCIONAL LENTO</p>			<p>Lámina</p> <p>12</p>	<p>Escala:</p>	<p>Fecha</p> <p>Junio 2015</p>