

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS
CASA BM EL RANCHO**

Por

ROQUE VALEROSO CUELLAR

**Proyecto de Grado presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado
académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Octubre de 2012

TARIJA-BOLIVIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mis padres y a la memoria de mi abuelita Luisa Aramayo que confiaron en mí, que con su constante apoyo y cariño, son mi guía, mi orgullo y lo más importante en mi vida.

A mis hermanos, sobrinos, y amigos por todo el apoyo y confianza en los buenos y malos momentos.

A mi hijita Helen Melissa, por ser la razón de mi existencia y la cuna de mi felicidad.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme la vida, la felicidad y la oportunidad de culminar con mis estudios.

A mis queridos padres Máximo Valeroso y Adela Cuellar por su gran ayuda durante todo el tiempo.

A mis hermanos Amalia, Emma, Cristina, Miguel, Quintín, Juana Agustín desde la distancia me brindan su cariño, colaboración y motivación.

Al Lic. William Miranda por abrirme las puertas de su empresa y por toda la colaboración prestada.

A mi tutor Ing. Miriam Barrero por su constante apoyo, a mis tribunales Ing. Tejerina, Ing. Juan Pablo, Ing. Adalid por toda su colaboración para finalizar este trabajo.

A las instituciones de apoyo A.P.G. Yaku-Igüa, CER-DET, CCGT-T por darme esta oportunidad de profesionalización.

RESUMEN

Como alternativa del control de contaminantes de los afluentes de la planta industrial de lácteos El Rancho, se propone en el presente trabajo como objetivo principal diseñar un sistema de tratamiento de las aguas residuales de la industria ya que se caracteriza por el elevado contenido de carga contaminante, de tal manera reducir esta carga orgánica e inorgánica presente en el afluente.

Para esto, primeramente se procedió a caracterizar a las aguas residuales de la industria tomando muestras representativas de las tres líneas de flujo de producción; productos de leche de vaca, leche de soya y refresco de linaza, donde se pudo evidenciar que en el proceso de refresco de linaza hay mayor cantidad de sólidos totales. Como mejor alternativa de las tecnologías propuestas se basó en la digestión anaerobia basado en procesos de:

- Tratamiento primario: comprende la cámara de sedimentación.
- Y como se trata de flujo discontinuo se incorpora un tanque homogeneizador para garantizar la estabilidad del caudal en la siguiente etapa.
- Tratamiento secundario o biológico: a través de dos filtros anaerobios de flujos ascendentes con medio de soporte material plástico (trozos de manguera), donde se permite la formación y desarrollo de las biopelículas encargadas de la descomposición del vertimiento.

Para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento se tendrá un control estricto en las condiciones de operación para el sistema anaerobio.

Esta tecnología presenta ventajas frente a otros procesos de tratamiento en relación de eficiencia técnica y económica. El sistema de tratamiento se localizará en la parte frontal del área de producción, para ello la industria dispone un área alrededor de 85 m² este sistema de tratamiento tendrá una capacidad para 6000 l/día, en cuanto al

aspecto económico para la implementación, el costo de inversión total está alrededor de 74800,55 bs., el material a emplear para la construcción es accesible y disponible en el mercado local.

Al concluir el presente trabajo, se espera haber contribuido positivamente en la tarea de contrarrestar la elevada carga contaminante del afluente en la industria de lácteos El Rancho, por consiguiente cumplir con las normativas ambientales vigentes en nuestro Estado Boliviano aportando el buen uso y velando por la conservación del recurso natural hídrico.

ÍNDICE

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Productos lácteos elaborados por el Rancho	2
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Justificación	5

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Clasificación de las aguas residuales	7
1.1.1. Aguas residuales crudas	7
1.1.2. Aguas residuales tratadas	8
1.2. Contaminación de aguas	8
1.3. Agentes contaminantes del agua residual	8
1.4. Aguas residuales de las industrias lácteas	9
1.4.1 Agua de enfriamiento	10
1.4.2 Aguas residuales sanitarias	10
1.4.3. Agua residual industrial	10
1.5. Características de las aguas residuales	10
1.5.1. Propiedades físicas	11
1.5.2. Propiedades químicas	13

1.5.3. Propiedades biológicas.....	15
1.6. Métodos de tratamiento de las aguas residuales	15
1.6.1. Operaciones físicas unitarias.....	15
1.6.2. Operaciones químicas unitarias.....	15
1.6.3. Operaciones biológicas unitarias.....	15
1.7. Niveles de tratamiento de aguas residuales.....	16
1.7.1. Pretratamiento de las aguas residuales.....	16
1.7.2. Tratamiento primario de las aguas residuales	17
1.7.3. Tratamiento secundario de las aguas residuales.....	17
1.7.4. Tratamiento terciario o avanzado.....	18
1.8. Procesos de tratamiento biológico del agua residual	19
1.8.1. Procesos aerobios.....	19
1.8.1.1. Procesos de fangos activados.....	21
1.8.2. Procesos anaerobios	22
1.8.2.1. Hidrólisis.....	23
1.8.2.2. Acidogénesis	23
1.8.2.3. Acetogénesis	24
1.8.2.4. Metanogénesis.....	24
1.8.3. Parámetros que rigen el proceso anaerobio.....	25
1.8.3.1. Temperatura	25
1.8.3.2. Potencial de hidrógeno pH.....	26
1.8.3.3. Alcalinidad	27
1.8.3.4. Ácidos grasos volátiles.....	27
1.8.3.5. Nutrientes	28
1.8.3.6. Bacterias adecuadas	28
1.8.4. Tecnologías de procesos anaerobios para aguas residuales industriales.....	28
1.8.4.1. Proceso anaerobio de contacto.....	28
1.8.4.2. Proceso anaerobio de flujo ascendente (UASB) o RAFA	29
1.8.4.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).....	31
1.8.4.4. Reactor anaerobio de lecho fluidizado.....	32

1.9. Criterios de evaluación para la selección del proceso de tratamiento.....	35
--	----

CAPÍTULO II DIAGNÓSTICO

2.1. Aspecto ambiental	38
2.2. Legislación.....	38
2.3. Situación de la gestión ambiental de la industria de productos lácteos El Rancho	41
2.4. Aspecto legal.....	43
2.5. Localización de la planta de lácteos El Rancho.....	43
2.6. Vías de acceso al área del proyecto.....	45
2.7. Descripción físico natural del área circundante al proyecto	45

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN FUNCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.1. Descripción del proceso de producción	49
3.1.1. Recolección de la leche.....	49
3.1.2. Recepción.....	49
3.2. Proceso térmico.....	49
3.2.1. Pasteurización de la leche	50
3.2.2. Descremado.....	52
3.2.3. Homogeneizado.....	52
3.2.4. Enfriamiento.....	52
3.2.5. Almacenamiento y envasado.....	53
3.3. Elaboración de productos.....	53
3.3.1. Leche pasteurizada.....	53
3.3.2. Crema de leche.....	54

3.3.3. Yogurt	54
3.3.4. Elaboración de leche de soya “vida soy”	55
3.3.5. Refresco de linaza	56
3.3.6. Leche con avena.....	57
3.3.7. Leche con tojorí.....	57
3.3.8. Superchok.....	57
3.4. Diagrama de bloque del proceso productivo.....	58
3.5. Generación de las aguas residuales de la industria láctea El Rancho	60
3.5.1. Lavado de tachos y tinas de recepción.....	60
3.5.2. Lavado de los tanques de cocción, recepción y envasado	61
3.5.3. Lavado del filtro rotatorio y del tamiz	61
3.5.4. Lavado y empuje del pasteurizador.....	62
3.6. Determinación del caudal de descarga.....	64
3.7. Proyección del caudal de descarga de las aguas residuales	66
3.8. Determinación del afluente	67
3.9. Límites permisibles de parámetros	67
3.10. Parámetros significativos de los efluentes industriales.....	68
3.11. Muestras	69
3.12. Características del agua residual de la planta de lácteos El Rancho.....	69

CAPÍTULO IV

SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

4.1. Equipos de tratamiento de agua residual propuesto para la planta industrial de lácteos El Rancho.....	73
4.1.1. Sedimentación.....	74
4.1.2. Homogeneización.....	75
4.1.3. Desengrasador.....	76
4.1.4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente “FAFA”	78

4.1.4.1. Características generales de los filtros anaerobios de flujos ascendentes.....	80
4.2. Arranque y operación de un reactor anaerobio	81
4.2.1. Etapa de arranque.....	82
4.2.2. Etapa de operación	83

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

5.1. Descripción del proceso de tratamiento	85
5.2. Diagrama de flujo.....	86
5.3. Balance de materia	88
5.3.1. Cámara de sedimentación	88
5.3.2. Homogeneización o tanque pulmón.....	90
5.3.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente “FAFA”	90
5.4. Selección de los equipos propuestos	91
5.5. Diseño y dimensionamiento de los equipos	92
5.5.1. Diseño del sedimentador	92
5.5.1.1. Componentes de un sedimentador	94
5.5.1.2. Criterios de diseño de la plancha difusora	96
5.5.1.3. Diseño de la plancha difusora	96
5.5.1.4. Dimensionamiento del sedimentador	98
5.5.2. Diseño del tanque homogeneizador	98
5.5.2.1. Dimensionamiento del tanque homogeneizador	99
5.5.3. Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA.....	100
5.5.3.1. Dimensionamiento de un FAFA	101
5.5.3.2. Parámetro de diseño de un FAFA	101
5.5.4. Diseño de una bomba.....	103
5.5.4.1. Ecuaciones para el diseño de la bomba.....	104
5.5.4.1.1. Trabajo de la bomba por la ecuación de Bernoulli	104

5.5.4.1.2. Número de Reynolds.....	105
5.5.4.1.3. Factor de rozamiento (<i>f</i>).....	105
5.5.4.1.4. Longitud equivalente total.....	105
5.5.4.1.5. Pérdidas por fricción (<i>hf</i>).....	105
5.5.4.2. Cálculo de potencia de la bomba.....	105
5.6. Inversión necesaria para la planta de tratamiento.....	107
5.6.1. Costo de la planta de tratamiento.....	107
5.6.1.1. Precio de la obra civil de la cámara de sedimentación.....	107
5.6.1.2. Tanque de homogeneización o tanque pulmón.....	108
5.6.1.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA.....	109
5.6.1.4. Costo real de inversión de la planta de tratamiento de aguas residuales	111

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	112
6.2. Recomendaciones.....	114
Bibliografía.....	115

ÍNDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

Cuadro I-1 Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual.....	18
Cuadro I-2 Ventajas y desventajas del proceso anaerobio.....	33
Cuadro I-3 Ventajas y desventajas del proceso aerobio.....	34
Cuadro I-4 Criterios de evaluación del proceso de tratamiento de las aguas residuales de industrias de lácteos El Rancho.....	36
Cuadro III-1 Efectos del Proceso en los componentes de la leche.....	50
Cuadro III-2 Requisitos establecidos de la leche para su industrialización.....	51
Tabla III-1 Balance hídrico de la empresa (promedio mensual).....	64

Tabla III-2 Caudales del Afluente de la Planta de Lácteos El Rancho	66
Tabla III-3 Parámetros Máximos Admisibles para Descarga en el Alcantarillado Sanitario	67
Cuadro III-2 Industrias de Productos Lácteos.....	68
Tabla III-4 Resultado de las aguas residuales de la línea de producción de lácteos..	70
Tabla III-5 Resultado del agua residual de la línea de producción de refresco de linaza.....	70
Tabla III-6 Resultado del agua residual de la línea de producción de leche de soya.	71
Tabla III-7 Análisis comparativos de las muestras promedios con los límites permisibles	72
Tabla V-1 Parámetros de diseño de la plancha difusora.....	97
Tabla V-2 Parámetro de diseño de un FAFA.....	101
Tabla V-3 Parámetros empleados para determinar la potencia de la bomba	106
Tabla V-4 Costo de construcción de la cámara de sedimentación.....	107
Tabla V-5 Costo de accesorios y equipos auxiliares de la cámara de sedimentación	108
Tabla V-6 Costo de construcción, accesorios y equipos auxiliares del tanque de homogeneización.....	109
Tabla V-7 Costo de construcción, accesorios y equipos auxiliares de los FAFA's..	110
Tabla V-8 Costo de inversión total de implementación.....	110
Tabla V-9 Costo de inversión en cada etapa.....	111
Cuadro V-1 Resumen de las características y dimensiones de equipos propuestos	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1 Esquema general de la oxidación biológica	20
Fig. 1-2 Esquema básico de un proceso de fangos activados	22
Fig. 1-3 Proceso de descomposición del sustrato por medio de bacterias anaerobias	25
Fig. 1-4 Esquema de un Proceso Anaerobio de Contacto.....	29
Fig. 1-5 Esquema general del reactor UASB.....	30

Fig. 1-6 Esquema de un filtro anaerobio.....	32
Fig. 1-7 Esquema de un reactor anaerobio de lecho fluidizado	33
Fig. 1-8 Diagrama de Bloque del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	36
Fig. 2-1 Planta Industrial de Lácteos “El Rancho”	44
Fig. 3-1 Diagrama del proceso actual de la planta industrial “El Rancho”.....	59
Fig. 3-2 Lavado de tachos de recepción y trasvases	60
Fig. 3-3 Lavados de los tanques de cocción.....	61
Fig. 3-4 Lavado del filtro rotatorio y del tamiz.....	62
Fig. 3-5 Lavado del equipo pasteurizador.....	63
Fig. 4-1 Forma esquemática de un sedimentador.....	75
Fig. 4-2 Diferencia entre afluentes al adicionar una solución básica (NaOH).....	77
Fig. 4-3 Esquema del funcionamiento general de un FAFA.....	80
Fig. 5-1 Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de las aguas residuales	87
Fig. 5-2 Diagrama de bloques de información.....	88
Fig. 5-3 Trayectorias usuales de flujo en tanques de sedimentación rectangular	94
Fig. 5-4 Características de un sedimentador primario	95
Fig. 5-5 Características de la pantalla de un sedimentador	96
Fig. 5-6 Dimensiones de la cámara de sedimentación primaria.....	98
Fig. 5-7 Dimensiones del tanque de homogeneización.....	100
Fig. 5.8 Dimensiones de un FAFA	103
Fig. 5-9 Diagrama de flujo del tanque homogeneizador.....	104

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	118
Anexo 2	122
Anexo 3	128
Anexo 4	129