

ANTECEDENTES

El tratamiento del agua residual industrial es un acontecimiento moderno (posterior a la Segunda Guerra Mundial). En el Reino Unido, tradicionalmente muchas industrias vertían sus residuos líquidos al alcantarillado público, y posteriormente se les trataba en la planta depuradora. Esta práctica todavía está extendida en el Reino Unido, mientras que países como Irlanda insistieron en que sus industrias tratarán sus propios vertidos industriales separadamente de las aguas urbanas. En un corto periodo de unas pocas décadas en Irlanda, la industria ha instalado plantas depuradoras de aguas residuales, muchas de las cuales son superiores en tecnología a las municipales (Kiely, G. 1999).

En Estados Unidos, el tratamiento y eliminación de las aguas residuales no recibió demasiada atención a fines del siglo XIX, porque los daños causados por el vertido de las aguas no tratadas en las relativamente grandes masas de agua receptoras no eran graves, y porque se disponía de grandes extensiones de terreno para su evacuación. Sin embargo, a principios del siglo XX, los daños causados y las condiciones sanitarias impulsaron una creciente demanda de mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales. Actualmente la evacuación de efluentes y su efecto sobre el medio ambiente precisan mayor atención debido al crecimiento industrial y urbano.

El número de industrias que vierten sus aguas residuales a los cuerpos receptores de agua ha aumentado significativamente durante los últimos treinta años. Entre los diversos sectores de la industria se registran notables diferencias en lo referente a la cantidad específica de aguas residuales producidas y al contenido orgánico e inorgánico de las mismas. (Metcalf & Eddy, 1995).

En el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea se aplican distintos procedimientos dependiendo de las cantidades que se produzcan y de su contenido de contaminantes, dentro de estos procedimientos se encuentran los tratamientos biológicos los cuales se distinguen a su vez en procesos aerobios y procesos anaerobios dependiendo de si requieren para su operación del suministro de oxígeno o no. (Spreer, 1991).

De acuerdo a Orozco A. (1989), la industria lechera genera aguas residuales con cargas orgánicas relativamente altas: entre 75 y 1500 mg/l. de DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno) con 900 mg/l. S.T. (Sólidos Totales) y 250 mg/l. de S.S. (Sólidos en Suspensión).

Para el caso en particular el crecimiento de las actividades industriales en la ciudad de Tarija, generan un incremento significativo en el consumo del agua como consecuencia de esto existe un elevado volumen de aguas residuales industriales que contienen microorganismos patógenos, compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, solventes y metales pesados, residuos sólidos municipales e industriales, que tiene gran incidencia en la calidad del agua, el equilibrio ecológico y la presencia de gran cantidad de especies de flora y fauna acuática en lagunas, lagos, ríos. (Molina D. 2008).

PRODUCTOS LÁCTEOS ELABORADOS POR EL RANCHO

La empresa de lácteos El Rancho ubicada en la calle España Esquina pasaje Soruco, zona el Tejar de la ciudad de Tarija-Bolivia, fue creada el 21 de noviembre de 1997. Primero nació con fin comercial luego a raíz de hacer de esta empresa no solo comercial si no también productora e industrializadora se crea “El Rancho”.

La empresa Láctea El Rancho ofrece a la población consumidora productos nutritivos como ser:

- Leche pasteurizada
- Crema de leche
- Yogurt
- Leche con Avena
- Leche con Tojorí
- Leche de Soya
- Refresco de linaza
- Superchok

Como se pudo evidenciar en la planta industrial de fabricación de productos lácteos El Rancho, las aguas residuales que se generan en dicha planta durante todo el proceso de elaboración de productos derivados de la leche de vaca, leche de soya y refresco de linaza, no tiene ningún sistema de tratamiento alguno son vertidas directamente al canal de desagüe, creando una estética inadecuada para la planta, un posible foco de infección para la salud humana, y dificultando a COSSALT Ltda. el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Con el objeto de conectarse directamente a la red de alcantarillado y de acuerdo al Reglamento Técnico sobre Lanzamiento de Efluentes Industriales en el Alcantarillado Sanitario, la empresa debe implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales para reducir los valores de DQO y DBO₅ por debajo de DQO = 500 mg/l. y DBO₅ = 250 mg/l. (COSSALT Ltda.).

De ahí surge la necesidad primordial de realizar un trabajo de caracterización de las aguas residuales y posterior diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de reducir la carga orgánica y verter a la red de alcantarillado con los límites admisibles de la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado Tarija “COSAALT Ltda.”

OBJETIVOS:

Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento para las aguas residuales industriales de Productos Lácteos El Rancho.

Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad de las aguas residuales de la industria.

- Evaluar y seleccionar una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales de la industria.

- Diseñar el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

- Estimar la inversión necesaria para implementar el sistema de tratamiento.

JUSTIFICACIÓN

La industria de productos lácteos El Rancho por su naturaleza presenta aguas residuales con alto contenido de sustancias contaminantes, estas aguas proviene de distintas etapas del proceso de elaboración de productos lácteos, soya y linaza. En la siguiente tabla se observa los parámetros para vertidos de aguas residuales de industrias lácteas al alcantarillado sanitario.

Parámetros	Unidades	Agua Residual	Límites Permisibles
Temperatura	°C	31,5	40
pH		4,56	6,5 a 8,5
S. en Suspensión	mg/l	5559,83	500
S. Sedimentables	mg/l	125	20
DBO ₅	mg/l	2532,83	250
DQO	mg/l	5629,75	500
Color	UCV	10,75	1000
Grasas y aceites	mg/l	363,50	20
Nitrógeno Total	mg/l	238,14	100

Fuente: CEANID, COSAALT Ltda.

De acuerdo a los resultados de análisis de laboratorio de las características fisicoquímicas del agua residual que se generan en la planta actualmente no cumplen con los requisitos establecidos, por tanto surge la necesidad de realizar acciones de control y tratamiento de las mismas por su elevado contenido de agentes contaminantes, y de acuerdo a la gestión ambiental establecida por el Ministerio de Desarrollo y como consecuencia de la promulgación de la Ley de Medio Ambiente N° 1333 y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, requiere el estudio del diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, para ajustar a la calidad del agua vertida a las especificaciones legales y cumplir con los requisitos establecidos por el Reglamento Técnico de Lanzamiento de Efluentes Industriales en el Alcantarillado Sanitario, ya que actualmente este vertido es ilegal

porque no tiene un convenio firmado para el vertido de sus aguas residuales; por esta razón la disponibilidad y la responsabilidad de la empresa industrial El Rancho con las políticas de acción y compromiso con el Medio Ambiente, empezará gestionando la firma de un convenio entre el representante legal de la empresa industrial El Rancho y COSAALT Ltda. para el permiso del vertido de sus aguas residuales a la red de alcantarillado sanitario. Actualmente las condiciones de operación de la industria son contaminantes; sin embargo se pretende mitigar estos impactos, de tal manera que se encuentre dentro de las normas ambientales para conservar el ecosistema.

Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales que pueden tener orígenes muy distintos: agua usada como medio de transporte, del lavado y enjuague, de transformaciones químicas usando el agua como disolvente, como subproducto de procesos físicos de filtración o destilación, como medio de transporte de calor, etc. El desarrollo de una política de medio ambiente en los países industrializados, que asegure el futuro del propio proceso productivo, implica una limitación cada vez más estricta sobre los contaminantes. (Rigola M. 1989).

1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

De acuerdo a la Ley N° 1333 de Medio Ambiente en su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, clasifica a aguas residuales crudas y aguas residuales tratadas.

1.1.1. AGUAS RESIDUALES CRUDAS

Son las aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.

➤ Aguas Residuales Domesticas (ARD)

Son las provenientes de las actividades 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 descomposición varía según los hábitos que los genera. (N. Magaña, 2009).

➤ 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. (N. Magaña, 2009).

➤ **Aguas Residuales Industriales (ARI)**

En concreto, las aguas residuales industriales son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje. (www.ambientum.com).

1.1.2. AGUAS RESIDUALES TRATADAS

Son las aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.

1.2. CONTAMINACIÓN DE AGUAS

Es la alteración de las propiedades fisicoquímicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.

1.3. AGENTES CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL

Los contaminantes de gran importancia en el tratamiento del agua residual son los siguientes: según Metcalf & Eddy, 1995.

➤ **Sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión presentes en el agua residual dan lugar al desarrollo de depósito de fangos y aumentan las condiciones anaerobias de las zonas de vertido cuando se vierten agua residual sin previo tratamiento a los lechos de ríos, lagos, etc.

➤ **Materia orgánica biodegradable**

Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, Se mide en relación de la DBO₅ y de la DQO, si se descargan las aguas residuales con alto

contenido de carga orgánica en el entorno acuático, conduce al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

➤ **Patógenos**

Pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual tales como los Coliformes Totales y Fecales.

➤ **Nutrientes**

El nitrógeno, fósforo y el carbón son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten a terreno en cantidades excesivas, pueden provocar la contaminación del agua subterránea.

➤ **Contaminantes prioritarios**

Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, toxicidad.

➤ **Materia orgánica refractaria**

Tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y pesticidas.

➤ **Metales pesados**

Son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario si se pretende reutilizar el agua residual. Aunque algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, en elevadas concentraciones pueden interferir en los procesos de depuración.

1.4. AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS LÁCTEAS

Según Tetra Pak, (1996), estas se pueden dividir en tres categorías las cuales se especifican a continuación:

1.4.1 AGUA DE ENFRIAMIENTO

Es el agua utilizada para los bancos de hielo normalmente están libres de contaminantes, generalmente se descarga en colectores de aguas pluviales.

1.4.2 AGUAS RESIDUALES SANITARIAS

Generalmente se recogen en colectores que van directamente a la planta de tratamiento de aguas residuales con mezcla inicial o no con las aguas residuales industriales.

1.4.3. AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Estas aguas proceden del reboce de leche y productos, y de la limpieza de los equipos que han estado en contacto con los productos lácteos. La concentración y la composición de estas aguas residuales dependen del plan de producción, de los métodos de operación y del diseño de la planta de procesos.

1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

La comprensión de las características y origen de las aguas residuales, son de vital importancia para el desarrollo de proyectos y operación de las infraestructuras tanto de recogida como de depuración y de descarga de las aguas residuales. Los constituyentes que están presentes en el agua residual son clasificados como físicos, químicos y biológicos. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Las características del agua residual específicamente para este proyecto aplican a agua residual industrial de productos lácteos varían según los procesos y actividades que realiza la empresa.

1.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Sólidos totales.- Se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua en un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos sedimentables constituyen una medida aproximada de la cantidad de fangos que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos coloidales y disueltos. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua residual.

La presencia de estos en el agua residual afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. En el caso de estudio se encuentra presencia de sólidos debido a que una de las actividades que genera el afluente es el lavado de equipos y área.

Olor.- El olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno. Se exige un cuidado especial en el diseño de instalaciones de tratamiento de aguas residuales a fin de evitar condiciones que generan la aparición de malos olores.

Temperatura.- La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua de abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura, porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está entre el rango de los 25 a 35°C.

Densidad.- La densidad es una característica física de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. Tanto la densidad como la gravedad específica dependen de la temperatura y de la concentración de sólidos presentes en las aguas residuales.

Color.- Este parámetro es causado por sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en solución. El color causado por los sólidos suspendidos se conoce como color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. La presencia de color en esta agua residual se debe a los residuos de la leche que quedan en los equipos al momento de lavarlos.

Turbiedad.- La turbiedad, como medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión.

1.5.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

Materia Orgánica.- La materia orgánica en aguas residuales industriales se constituye básicamente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. Los principales grupos de sustancias orgánicas presente son:

- Proteínas (40-60%)
- Hidratos de carbono (25-50%)
- Grasas y aceites (10%).

Los parámetros para aguas residuales de industrias lácteas más relevantes son: la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, las grasas y aceites.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅ en mg/l).- Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20°C y en 5 días. (Ley N° 1333).

Demanda química de oxígeno (DQO en mg/l).- Cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión en un lapso de 3 horas. (Ley N° 1333).

Grasas y aceites.- Se consideran grasas y aceites los compuestos de carbono, hidrogeno y oxigeno que flotan en el agua residual, recubriendo las superficies con las cuales entra en contacto, causando problemas de mantenimiento e intervienen en la actividad biológica. En este caso las grasas y aceites que genera la empresa son de tipo vegetal lo cual indica que son comúnmente biodegradables. (Romero R, 1999).

Materia química inorgánica.- Los componentes inorgánicos de las aguas residuales de las industrias lácteas más resaltantes son el nitrógeno, fósforo (Tetra Pak, 2006).

Nitrógeno.- Es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas, además son necesarias para el tratamiento biológico por lo que se debe tener presentes las concentraciones de este en el agua residual, debido a que de no contener lo suficiente debía de agregarse y en otras ocasiones se debe remover porque su concentración es mayor a lo requerido en el tratamiento biológico.

Fósforo.- Al igual que el nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas, y es necesario en algunos tratamientos biológicos. Debido al crecimiento indeseable de algas en la superficie del agua residual existe un gran interés en removerlas.

Azufre.- El ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias.

pH.- Es la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ión hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos.

1.5.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

El agua residual de las industrias lácteas tiene la presencia de organismos no patógenos y la presencia de Coliformes totales y fecales se da por actividades ajenas al proceso productivo.

1.6. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según Crites & Tchobanoglous (2000), los métodos de tratamiento de las aguas residuales se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos y biológicos unitarios.

1.6.1. OPERACIONES FÍSICAS UNITARIAS

Son los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias, se encuentran entre estas la floculación, sedimentación, filtración, mezcla y el tamizado.

1.6.2. OPERACIONES QUÍMICAS UNITARIAS

Los procesos químicos unitarios son aquellos métodos en los cuales la remoción o transformación de contaminantes se producen por la adición de insumos químicos o por reacciones químicas. Los procesos de precipitación, adsorción y desinfección se catalogan como procesos químicos unitarios.

1.6.3. OPERACIONES BIOLÓGICAS UNITARIAS

Los métodos de tratamiento en los que la remoción de contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se denominan procesos biológicos unitarios. Entre estos procesos están los aerobios, anaerobios y facultativos, también se incluye la nitrificación y desnitrificación.

De esta manera, el tratamiento de las aguas residuales incluye una serie de procesos industriales de carácter fisicoquímico y biológico.

1.7. NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, y ajustar a la calidad del agua vertida a las especificaciones legales. Los niveles de tratamientos se agrupan según los diferentes grados de eficiencia alcanzados en la remoción de los contaminantes existente en los líquidos residuales. Estos niveles se conocen usualmente como;

- Pretratamiento: físico y/o químico
- Tratamiento primario: Físico
- Tratamiento secundario: Biológico
- Tratamiento terciario o avanzado: Físico, químico y/o biológico

Estos tratamientos ayudan a eliminar los residuos sólidos, materia orgánica y los microorganismos patógenos presentes en el agua residual. (Kiely, G. 1999)

1.7.1. PRETRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones, y sistemas auxiliares. El desbaste es para eliminar sólidos gruesos (trapos, botellas de plásticos, gomas, etc.), la flotación para eliminar las grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos, y un desgaste excesivo de los mismos. (Metcalf & Eddy, 1995).

1.7.2. TRATAMIENTO PRIMARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el tratamiento primario se elimina una fracción de sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO₅ alta. (Metcalf & Eddy, 1995).

En este proceso unitario el agua residual se deja decantar durante un periodo de tiempo en un tanque de decantación y producir así un efluente líquido clarificado en una línea y un fango líquido-sólido en una segunda línea. El objetivo es producir un efluente líquido de calidad aprovechable para la segunda etapa de tratamiento (es decir tratamiento biológico secundario) y lograr una separación de sólidos que dé lugar a un fango primario que pueda ser convenientemente tratado y vertido. (Kiely, G. 1999).

1.7.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El objetivo principal del tratamiento secundario consiste en reducir el valor de DBO₅ que no se beneficia de la decantación primaria tanto como los sólidos en suspensión. Es decir que el tratamiento secundario debe ser un proceso capaz de biodegradar la materia orgánica en productos no contaminantes como por ejemplo H₂O, CO₂ y biomasa (fangos); generalmente se basan en procesos biológicos unitarios. Entre los procesos y operaciones aplicados durante el tratamiento secundario se encuentran: la transferencia de gases, la sedimentación secundaria, y los procesos biológicos aerobios y anaerobios. (Kiely, G. 1999).

Los efluentes industriales con carga orgánica depurables por métodos biológicos, corresponden principalmente a industrias de carácter agroalimentario, aunque otras

industrias como papeleras, farmacéuticas, etc., también producen vertidos que pueden ser sometidos a estos tratamientos secundarios. (madrimasd, 2006).

1.7.4. TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

Se utiliza cuando se requiere eliminar algún componente del agua residual que no se ha podido eliminar con el tratamiento secundario. Son procesos específicos que permiten obtener un agua residual sin nitrógeno, fósforo, materia en suspensión no decantada, materia orgánica no biodegradable, metales pesados o materias disueltas. Normalmente se realiza después de un tratamiento secundario de alta carga pero también puede ser que se combine con un tratamiento primario o secundario o que se utilice en lugar de un tratamiento secundario. (J. Gutiérrez, 2003).

En el siguiente cuadro I-1 se muestran muchos de los métodos que son empleados para el tratamiento de las aguas residuales los cuales cumplen con la función de reducir los agentes contaminantes del agua residual.

Cuadro I-1

Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual

Contaminante	Sistema de tratamiento, operación o procesos unitarios
Sólidos en Suspensión	Desbaste, flotación, dilaceración, desarenado, filtración, sedimentación, adición de polímeros, sistemas naturales (tratamiento de evacuación de terreno), coagulación/sedimentación.
Materia orgánica biodegradable	Variante de fangos activados, película fija, filtros percoladores y biodiscos, variante de lagunaje, filtración intermitente en arena, sistemas fisicoquímicos, sistemas naturales.
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire, tratamiento de gases, absorción en carbón.

Patógenos	Cloración, hipocloración, ozonización, cloruro de bromo, radiación UV, sistemas naturales.
Nitrógeno	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación, arrastre de amoníaco, intercambio iónico, cloración al breajpoint, sistemas naturales.
Fósforo	Adición de sales metálicas, coagulación, y sedimentación con cal, eliminación biológica del fósforo, eliminación biológica-química del fosforo, sistemas naturales.
Materia orgánica refractaria	Adsorción de carbón, ozonización terciaria, sistemas naturales
Metales pesados	Precipitación química, intercambio iónico, sistemas de tratamiento por evacuación de terreno.
Sólidos disueltos orgánicos	Intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis.

Fuente: Tchobanoglous, George. 1996.

1.8. PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL

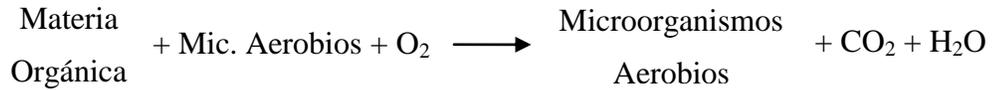
Dentro de los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tenemos a los procesos aerobios y procesos anaerobios.

1.8.1. PROCESOS AEROBIOS

El proceso aerobio es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones; el oxígeno es reducido y el carbono es oxidado, al igual que la materia orgánica o inorgánica. Todos los organismos que usan oxígeno libre como aceptador de electrones son aerobios. El proceso se ejecuta con el propósito de obtener la energía necesaria para la síntesis de tejido celular nuevo, las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales porque son excelentes oxidadores de la materia orgánica, siendo

capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica. (Romero, R. 1999).

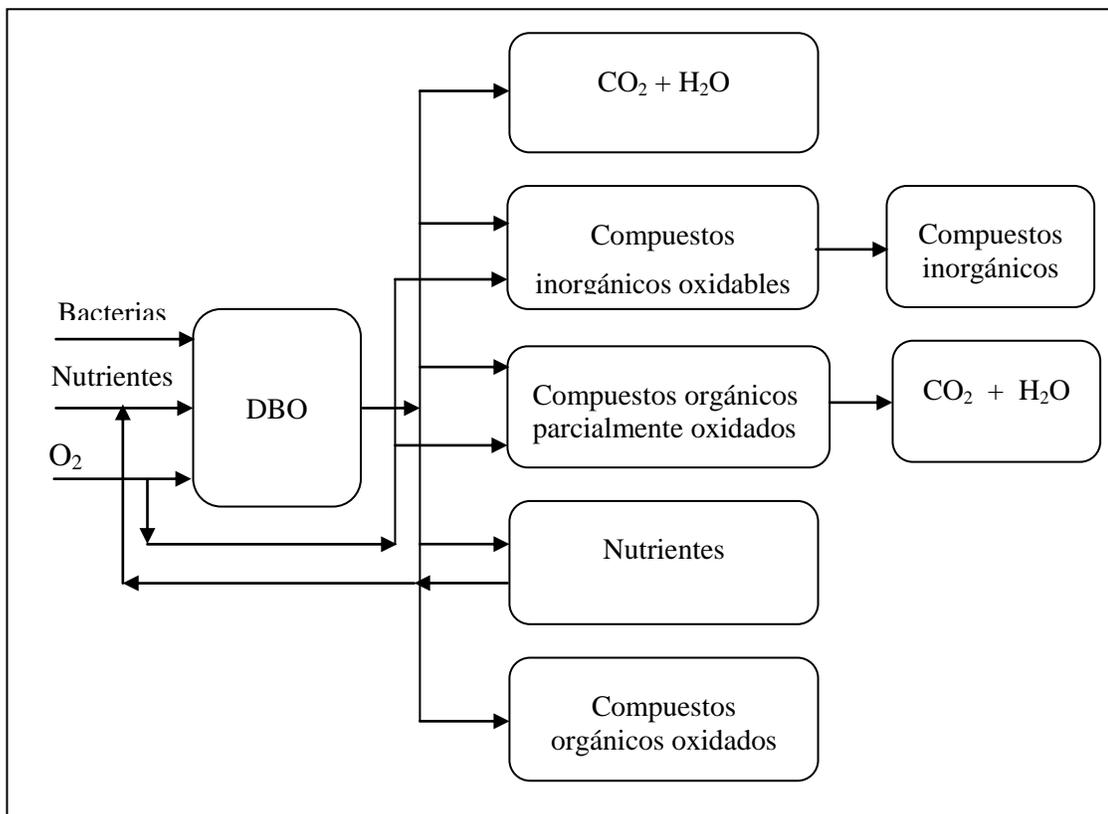
La estequiometría de la digestión aerobia se expresa de la siguiente manera: (López, J. M. 1989).



En la figura se muestra el esquema general de la oxidación biológica.

Figura 1-1

Esquema general de la oxidación biológica



Fuente: J. López, 1989. Digestión Anaerobia de Lodos de Depuradoras.

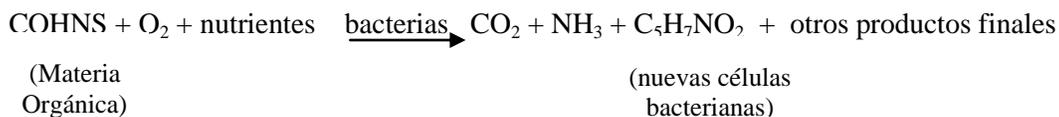
1.8.1.1. PROCESOS DE FANGOS ACTIVADOS

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Anrdern y Lockett y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

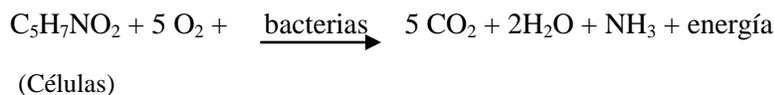
Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, el agua residual con flóculos biológico previamente formados, en los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza una recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior del reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos. (madrimasd, 2006).

El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de “líquido mezcla”. En el reactor, el cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión en concordancia general con la estequiometria de las siguientes ecuaciones.

Oxidación y síntesis.



Respiración endógena.

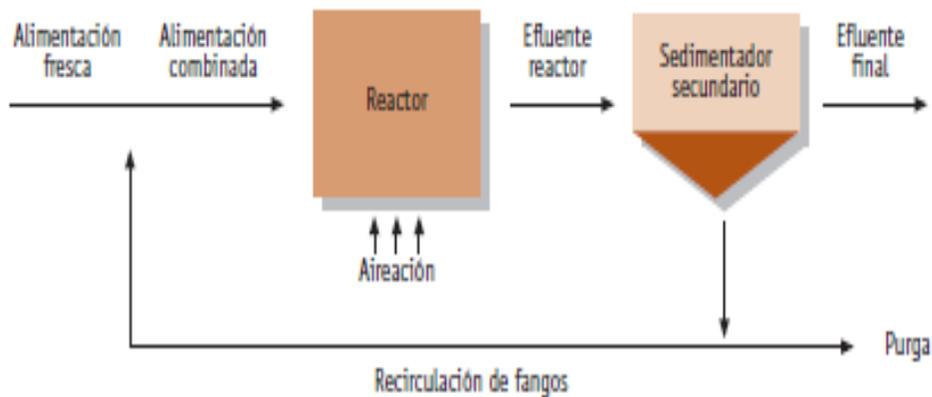


Donde COHNS representa la materia orgánica del agua residual.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conducen hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema. La fracción purgada corresponde al crecimiento de tejido celular, asociado a un agua residual determinada. El nivel al que se debe mantener la masa biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética de crecimiento, tiene una eficiencia típica de remoción DBO_5 de 65 a 85 %.(Metcalf & Eddy, 1995)

Figura 1-2

Esquema básico de un proceso de fangos activados



Fuente: madrimasd, 2006

1.8.2. PROCESOS ANAEROBIOS

El proceso anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno.

El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por **metano (60-80%)** y **dióxido de carbono (40-20%)** y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Solo una pequeña parte de la **DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias**, frente al (50-70%) de un proceso aerobio. Sin embargo, la **lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia**, por lo que es necesario **diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos**.

Es un proceso complejo en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso, que se describen a continuación, se lleva a cabo con grupos de distintos tipos de bacterias. (madrimasd, 2006)

1.8.2.1. HIDRÓLISIS

Es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas, como los azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y glicerol en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente. Etapa que a su vez involucra a otras como:

1.8.2.2. ACIDOGÉNESIS

Las bacterias fermentativas metabolizan dentro de la célula los anteriores monómeros. Generalmente, solo una pequeña cantidad de la energía potencial en la materia orgánica es utilizada para la fermentación. Una gran porción de la misma (cerca del 80%) es excretada fuera de la célula en forma de alcoholes, ácidos grasos volátiles y gas hidrogeno. *El resultado total de la fermentación es la conversión de sustratos neutros, tales como azúcares y aminoácidos en ácidos orgánicos relativamente fuerte.*

1.8.2.3. ACETOGÉNESIS

Los productos de la fermentación no son sustratos directos de las bacterias metanogénicas. En esta etapa aparecen *las bacterias acetogénicas que toman estos compuestos y los introducen a sus células, oxidándolos anaeróbicamente hasta ácido acético y gas hidrógeno los cuales son excretados fuera de la célula*. Por lo tanto una parte del ácido acético e hidrógeno producidos proviene de la acidogénesis y otra de la acetogénesis.

1.8.2.4. METANOGÉNESIS

La formación de metano, siendo este el último producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: la primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denomina bacterias acetoclastas. La reacción planteada de forma general, es la siguiente:



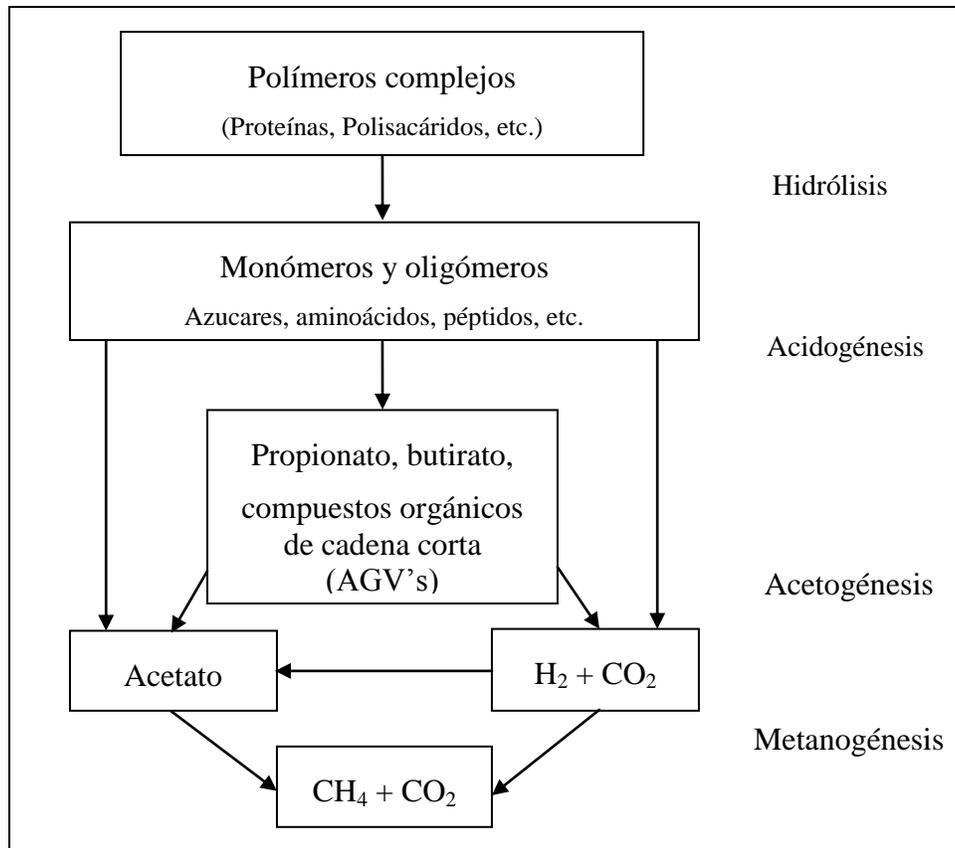
Algunas bacterias metanogénicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metanogénicas hidrogenoclastas) según la reacción:



La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que se llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas. (madrimasd, 2006).

Figura 1-3

Proceso de descomposición del sustrato por medio de bacterias anaerobias



Fuente: Méndez R, 2003. Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Beneficiado de Café Coopronranjo R.L.

1.8.3. PARÁMETROS QUE RIGEN EL PROCESO ANAEROBIO

1.8.3.1. TEMPERATURA

Es un parámetro esencial en la digestión anaerobia. Conforme aumenta la temperatura, las reacciones biológicas son más rápidas, hasta una temperatura máxima, lo que reduce los tiempos de retención y aumenta la eficiencia del proceso.

Existen tres niveles de temperatura: psicrófila de 0-20°C, mesófila de 20-45°C, termófila de 45-65°C (Ulloa, 1993).

Los cambios de temperatura en el ambiente mesófilico pueden ser normalmente tolerados, pero es necesario que si la temperatura desciende la carga que ingrese al sistema también debe ser disminuida ya que hay un descenso de la actividad bacteriana. (Wasner, 1995)

Como el calor específico del agua es mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales son más altas que las temperaturas locales del aire (temperatura ambiente) durante la mayor parte del año y solo son más bajas durante los meses más cálidos del verano (Deloya, 1989).

Este es un parámetro importante de considerar ya que afecta directamente la eficiencia con las que se llevan a cabo los procesos biológicos en el agua residual, además de permitir la proliferación de ciertos microorganismos dependiendo del rango de temperatura en el cual se encuentre el sistema.

1.8.3.2. POTENCIAL DE HÍDROGENO (pH)

Es de vital importancia para el sistema, ya que una disminución del pH puede traer como resultado la inhibición del crecimiento de las bacterias metanogénicas, ello hace que disminuya la producción de metano y aumente el contenido de dióxido de carbono y se produzca olores desagradables por el aumento del contenido de sulfuro de hidrógeno (Lay et al., 1998)

El pH óptimo para la digestión anaerobia se encuentra entre 6,8 a 7,2. En condiciones más ácidas el proceso se detiene. (Ulloa, 1993). Un valor de pH inferior a 6.0 inhibe el crecimiento y actividad de las bacterias metanogénicas.

Por otra parte las bacterias fermentativas son aún activas hasta pH de 4,5. Si no se añade un factor alcalino para neutralizar los ácidos, el sistema se convertirá en un sistema de acidificación, obteniéndose un pH en el efluente próximo a 4,5-5,0. La actividad de las bacterias metanogénicas también disminuye si el pH está por encima de 7,5. (Wasser, 1995).

1.8.3.3. ALCALINIDAD

La alcalinidad es una medida del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio fundamentalmente; se expresa en mg CaCO_3/l , y representa la capacidad tampón del contenido del digestor.

Un digestor con una alcalinidad superior a 1000 mg/l (a pH 6), representa una buena capacidad de respuesta frente a rápidos aumentos en el contenido de ácidos volátiles (Kotze y col. 1969). McCarty (1964) establece que para un valor de la alcalinidad comprendido entre 2500 y 5000 en mg CaCO_3/l se obtiene un margen de operaciones seguro en el tratamiento anaerobio de residuos.

1.8.3.4. ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES

El contenido en ácidos grasos volátiles en el interior de un digestor, es uno de los parámetros más útiles en el control del estado metabólico del proceso. Teniendo en cuenta que estos ácidos juegan un importante papel como intermediarios en la formación de metano, acumulación de alguno de ellos indica la modificación de las condiciones metabólicas en el digestor, por tanto cualquier inhibición de las etapas finales de la metanogénesis provocará un aumento de la concentración de ácidos volátiles y un descenso del pH.

El límite de la concentración de ácidos volátiles para el proceso sea estable varía según los datos encontrados en la bibliografía. Puede variar entre los 200 mg/l

(referido a ácido acético equivalente) y los 2000 mg/l, concentración a la que se inhiben las bacterias metanogénicas pero no así las acidogénicas (McCarty y McKinney, 1961; Hawkes y col. 1976).

1.8.3.5. NUTRIENTES

La digestión anaerobia, por ser un proceso biológico requiere ciertos nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento de las bacterias anaerobias. En ausencia de estos nutrientes el crecimiento será limitado.

Las bacterias metanogénicas contienen los nutrientes esenciales normales, tales como nitrógeno, fósforo y azufre, pero algunos micronutrientes, tales como níquel, hierro y cobalto, están presentes en concentraciones más altas que en otros organismos, lo cual indica un requerimiento particular de estos micronutrientes por las bacterias metanogénicas (Wasser, 1995)

1.8.3.6. BACTERIAS ADECUADAS

Debe existir una proporción óptima de ambas poblaciones bacterianas, metanogénicas y no metanogénicas, lo cual se garantiza con un previo inóculo, el cual desarrolla suficientes sustancias amortiguadoras para mantener los valores deseados de pH y que cubren casi totalmente las altas demandas de condiciones anaeróbicas por las bacterias metanogénicas (Angelidaki, 1997).

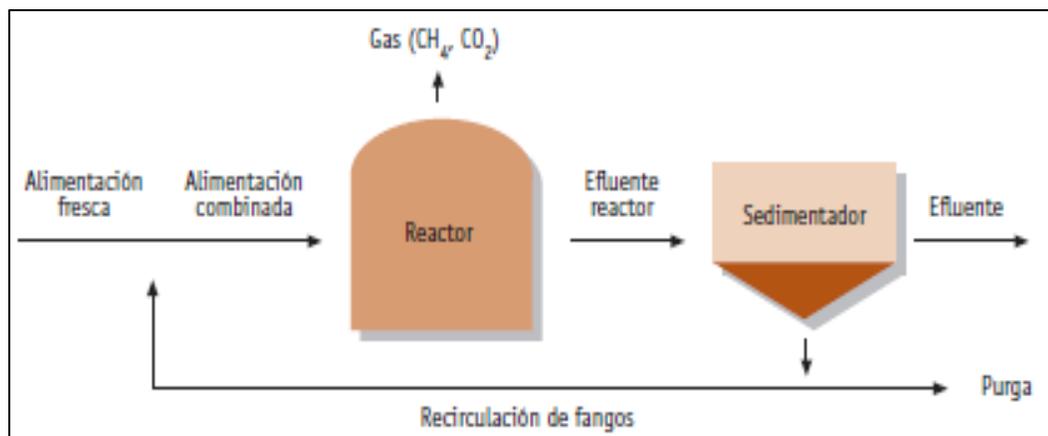
1.8.4. TECNOLOGÍAS DE PROCESOS ANAEROBIOS PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

1.8.4.1. PROCESO ANAEROBIO DE CONTACTO

Se trata del equivalente al proceso de fangos activados aerobio. Consiste en un tanque cerrado con un agitador donde tiene una entrada para el agua residual a tratar y dos salidas, una para el biogás generado y otra para la salida del efluente. Este efluente se

lleva a un decantador donde es recirculada la biomasa de la parte inferior del decantador al reactor, para evitar la pérdida de la misma. Los principales problemas que presentan radican en la necesidad de recircular los lodos del decantador y de una buena sedimentación de los mismos. Tiene una remoción de la carga orgánica de DQO de 75 a 90 %. (madrimasd, 2006).

Figura 1-4
Esquema de un Proceso Anaerobio de Contacto



Fuente: madrimasd, 2006.

1.8.4.2. PROCESO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB) O RAFA

Estos reactores fueron desarrollados en Holanda, por el Prof. Lettinga en la década de los 80. Se trata de un reactor cuyo lecho está formado por gránulos de biomasa. (madrimasd, 2006)

El residuo que se quiere tratar se introduce por la parte inferior del reactor. El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de fango constituido por gránulos o partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y las partículas. Los gases producidos en condiciones anaerobias provocan una circulación interior, que colabora en la formación y

mantenimiento de los gránulos. Parte del gas generado dentro del manto de fango se adhiere a las partículas biológicas.

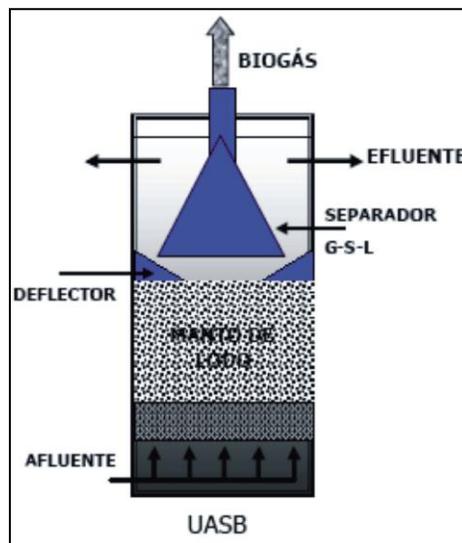
Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido gas, ascienden hacia la parte superior del reactor. Allí se produce la liberación del gas adherido a las partículas, al entrar estas en contacto con unos deflectores desgasificadores. Las partículas desgasificadas suelen volver a caer hasta la superficie del manto de fango.

El gas libre y el gas liberado de las partículas se capturan en una bóveda de recogida de gases instalada en la parte superior del reactor. El líquido, que contiene algunos sólidos residuales y algunos de los gránulos biológicos, se conduce a una cámara de sedimentación, donde se separan los sólidos residuales. Los sólidos separados se reconducen a la superficie del manto de fango a través del sistema de deflectores.

Para mantener el manto de fango en suspensión, es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor entre 0,6 y 0,9 m/h., en estos reactores se alcanza una remoción de DQO₅ 75-85%. (Metcalf & Eddy, 1995).

Figura 1-5

Esquema general del reactor UASB



Fuente: www.wastewaterengineering.com

1.8.4.3. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

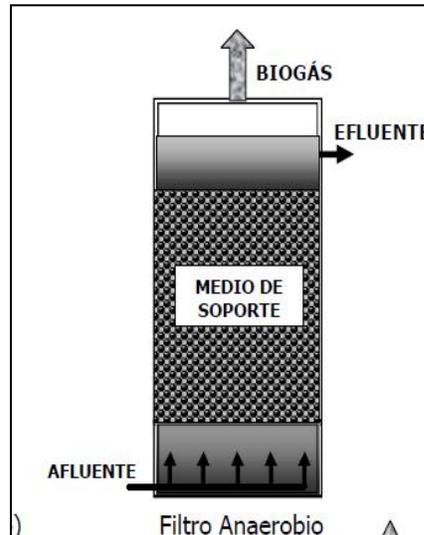
El reactor anaerobio de lecho fijo es un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales en el que la biomasa metanogénica es retenida en el interior del reactor mediante su adhesión en forma de biopelícula o atrapamiento de los flóculos bacterianos en los intersticios de un soporte inerte que rellena el digestor y a través del cual se hace pasar el agua residual para su depuración. Este relleno puede ser desordenado, constituyendo el proceso conocido como Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente o FAFA.

El FAFA es un tanque de relleno con un material de empaque y con lodo anaeróbico el cual se retiene en el reactor por sus propiedades de sedimentación, o por su forma de crecimiento en torno al material de empaque, el cual puede ser cualquier material inorgánico inerte con una superficie específica grande (Wasser, 1995).

El agua ingresa al filtro en forma continua y permanece en su interior durante períodos de tiempo variables, obteniéndose como ventaja importante que el fango estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y patógena y no es putrescible. Debido a que el agua es alimentada desde el fondo del tanque se pone en contacto con el lodo y la degradación ocurre en el lecho del mismo, y en la parte superior del tanque es retenida la biomasa por la presencia del material filtrante. Por otro lado el lodo que ha sido estabilizado se deposita en el fondo del filtro, por lo que el agua se extrae por la parte de arriba del filtro. (Metcalf & Eddy, 1995).

El porcentaje de remoción esta alrededor de 80-95 % de materia orgánica contaminante.

Figura I-6
Esquema de un Filtro Anaerobio



Fuente: www.wastewaterengineering.com

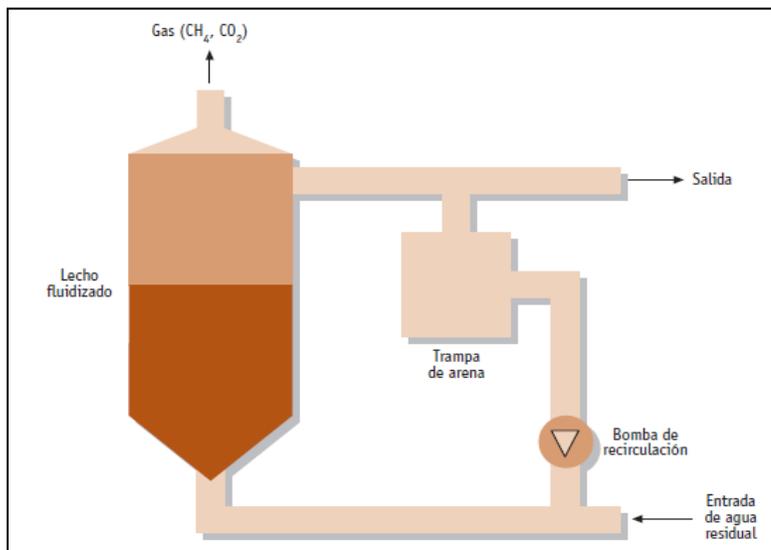
1.8.4.4. REACTOR ANAEROBIO DE LECHO FLUIDIZADO

Son columnas en cuyo interior se introducen partículas de un sólido poroso (arena, piedra pómez, biolita, etc.) y de un tamaño variable (1-5 mm) con el objetivo de que sobre su superficie se desarrolle una biopelícula bacteriana que lleve a cabo la degradación anaerobia.

Para que las partículas permanezcan fluidizadas (en suspensión), es necesario realizar una recirculación del líquido, para que la velocidad del mismo en el interior de la columna sea suficiente como para mantener dichas partículas expandidas o fluidizadas. Este tipo de equipos se han comprobado como muy eficaces, al menos en escala laboratorio o planta piloto. Se consiguen muy altas concentraciones de microorganismos, así como una muy buena mezcla en el lecho alcanzando una remoción de DQO de 80 – 85 %. Sin embargo su implantación a nivel industrial no ha alcanzado las expectativas que se crearon. (madrimasd, 2006).

Figura 1-7

Esquema de un reactor anaerobio de lecho fluidizado



Fuente: madrimasd, 2006.

En el siguiente cuadro I-2 se muestran algunos puntos de importancia en cuanto a las ventajas y desventajas del proceso anaerobio.

Cuadro I-2

Ventajas y desventajas del proceso anaerobio

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tasa baja de síntesis celular y, por consiguiente, poca producción de lodos. ➤ El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales. ➤ No requiere oxígeno. Por tanto, usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica. ➤ Produce metano, el cual puede ser útil 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas. ➤ Tiene riesgo de salud por H₂S ➤ Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido. ➤ Requiere concentraciones altas de alcalinidad. ➤ Es sensible a la contaminación con oxígeno. ➤ Puede presentar olores

<p>como energético.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tiene requerimientos nutricionales bajos. ➤ Las unidades de tratamiento son cerradas evitando la generación de olores. 	<p>desagradables por H₂S ácidos grasos y aminas.</p>
---	---

Fuente: Romero R., 1999.

En el siguiente cuadro I-3 se muestran algunos puntos de importancia en cuanto a las ventajas y desventajas del proceso aerobio.

Cuadro I-3
Ventajas y desventajas del proceso aerobio

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausencia de olores. ➤ Mineralización de todos los compuestos biodegradables. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tasa alta de síntesis celular y, por consiguiente, alta producción de lodos. ➤ Requiere mucha energía eléctrica para oxigenación y mezcla. ➤ Gran proporción de células en los lodos que hace, en algunos casos, necesaria su digestión, antes de secarlos y disponerlos.

Fuente: Romero R., 1999.

En el tratamiento de aguas residuales de la industria lácteas se aplican distintos procedimientos dependiendo de las cantidades que se produzcan y de su contenido de contaminantes, dentro de estos procedimientos se encuentran los tratamientos biológicos los cuales se distinguen a su vez en procesos aerobios y procesos anaerobios dependiendo de si requieren para su operación del suministro de oxígeno o no. (J. Zamora, 2006).

El presente trabajo enfocará con más detalle al proceso de tratamiento secundario o biológico por las características fisicoquímicas y biológicas que presenta las aguas residuales de la industria lácteas. En los reactores anaerobios se pueden tratar aguas residuales procedentes de industrias con una base biológica, donde sus residuos tienen un contenido de materia orgánica alta como es en el caso de la industria láctea.

1.9. CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

Para establecer los criterios de evaluación se fundamenta en la selección de las características técnicas-teóricas de las tecnologías propuestas por las literaturas conocidas, recomendada y/o adoptada, también en coordinación con la misma empresa industrial El Rancho:

- Para ello se consulta a la empresa su disponibilidad económica para implementar el sistema de tratamiento de las aguas residuales.
- Se cotizó los materiales para la construcción de los diferentes equipos y accesorios que serán usados en este sistema de tratamiento, los cuales son accesibles y dispuestos en el mercado local, siendo más económicos frente a otras tecnologías.
- Para la construcción del sistema de tratamiento de las aguas residuales, la planta industrial cuenta con un espacio físico aproximadamente 85 m² que satisface al espacio requerido para la misma.
- En cuanto al mantenimiento de los equipos, cada uno de ellos presenta diferente costo económico por sus características particulares.
- El rendimiento de los equipos propuestos son considerados en base a los trabajos desarrollados que demuestran las literaturas especializadas en el rubro.

El siguiente cuadro I-4 nos permitirá demostrar y comparar los criterios, que influyen en la selección del proceso de un tratamiento primario, seguido del tratamiento secundario con el proceso biológico anaerobio para el tratamiento de las aguas

residuales de la industria láctea El Rancho. Así también nos permitirá, demostrar las restricciones que se presentan, en la implementación de otras tecnologías.

Cuadro I-4

Criterios de evaluación del proceso de tratamiento de las aguas residuales de industrias lácteas El Rancho

PROCESOS	Disponibilidad económica de la empresa	Accesibilidad de equipos	Espacio físico	Costo de mantenimiento	Eficiencia
TRATAMIENTO PRIMARIOS					
SEDIMENTADOR	Alto	Alto	Moderado	Moderado	Moderado
HOMOGENEIZADOR	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
TRATAMIENTO SECUNDARIO					
ANAEROBIOS	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto
AEROBIOS	Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Alto

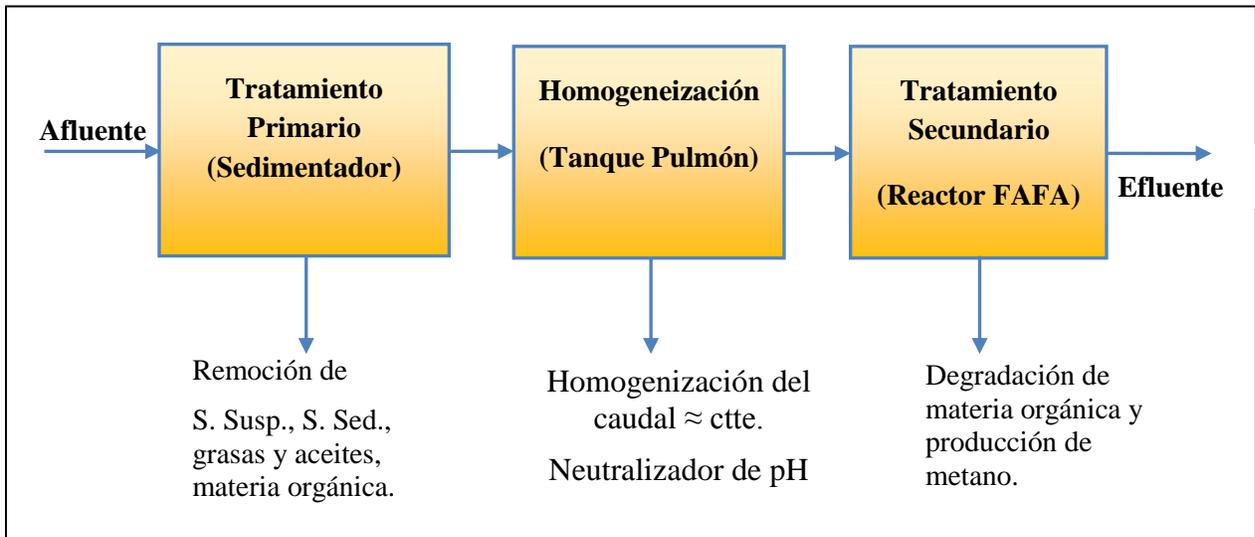
Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro I-4, se considero la categorización de alto, moderado y bajo; para calificar a los procesos, de acuerdo a los diferentes criterios establecidos.

Por las características de las aguas residuales de una industria láctea considerando los criterios de evaluación de los procesos prioritarios de tratamiento de las aguas residuales, en la figura 1-8 se muestra un diagrama de bloque general de lo que será el sistema de tratamiento de aguas residuales, donde se muestran las distintas etapas de tratamiento de las aguas residuales de la industria de lácteos El Rancho, que tiene la función de eliminar los sólidos y materia orgánica que contienen el afluente.

Figura 1-8

Diagrama de bloque del sistema de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Elaboración propia.

2.1. ASPECTO AMBIENTAL

La calidad de las aguas puede ser alterada como consecuencia de las actividades humanas o naturaleza que produzcan efectos, que cambien su valor para el hombre. Entonces cualquier alteración de la calidad física, química y biológica del agua que provoque un efecto inaceptable de su utilidad o valor ambiental es una contaminación del agua y un contaminante, es un factor o la sustancia que provoca esa alteración.

El agua residual de la planta industrial El Rancho, contiene un alto contenido de carga orgánica e inorgánica, estas aguas provienen de distintas etapas del proceso, desde la pasteurización de la leche, derrames por trasvases y por exceso de calor en los equipos de cocción, pérdidas al transportar de un equipo a otro, y del lavado de los distintos equipos que contienen residuos de los productos elaborados y por último el lavado de la sala de producción, todas estas aguas contaminadas por la leche, soya y linaza son conducidas por un canal protegida con rejillas y por gravedad, son descargadas al canal de desagüe del alcantarillado sanitario, entre los factores contaminantes tenemos: la alteración de la temperatura de los procesos térmicos con un promedio de 31,5°C esta agua que proviene de enfriamiento y condensación es agua limpia, tiene un pH ácido alrededor de 4,56, sólidos en suspensión de 5559,83 mg/l, sólidos sedimentables 125 mg/l, 2532,83 mg/l de DBO₅, DQO con 5629,75 mg/l, grasas y aceites 363,50 mg/l, Nitrógeno Total 283,14 mg/l, estos parámetros fueron determinados en los laboratorios externo de (CEANID, COSAALT Ltda.). El exceso de los agentes contaminantes presente en el agua residual de alguna manera perjudican a los colectores sanitarios dificultando los procesos de tratamiento de las aguas residuales en la planta de tratamiento de San Luis.

2.2. LEGISLACIÓN

De acuerdo a la Constitución Política del Estado sobre el medio ambiente, se toma en cuenta los siguientes artículos.

Art. 342.- Es deber del Estado y de la población conservar; proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y de la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente.

Art. 345.- Las políticas de gestión ambiental se basarán en:

1. La planificación y gestión participativas, con control social.
2. La aplicación de los sistemas de evaluación de impacto ambiental y el control de la calidad ambiental, sin excepción y de manera transversal a toda actividad de producción de bienes y servicio que use, transforme o afecte a los recursos naturales y al medio ambiente.
3. La responsabilidad por ejecución de toda actividad que produzca daños medioambientales y su sanción civil, penal y administrativa por incumplimiento de las normas de protección del medio ambiente.

Art. 374.- El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes. La Ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.

De acuerdo a la Ley N° 133 de Medio Ambiente en sus artículos más sobresalientes sobre el recurso agua establece lo siguiente:

Art. 36.- Las aguas en todos sus estados son de dominio originario del Estado y constituyen un recurso natural básico para todos los procesos vitales. Su utilización tiene relación e impacto en todos los sectores vinculados al desarrollo, por los que su protección y conservación es tarea fundamental del Estado y la sociedad.

Art. 39.- El Estado normará y controlará el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno.

Art. 71.- El que vierta o arroje aguas residuales no tratadas, líquidos químicos o bioquímicos, objetos o desechos de cualquier naturaleza, en los cauces de agua, en las riberas, acuíferos, cuencas, ríos, lagos, lagunas, estanques de aguas, capaces de contaminar o degradar las aguas que excedan los límites a establecerse en la reglamentación, será sancionado con la pena de privación de libertad de uno a cuatro años y con la multa de cien por ciento del daño causado.

La Ley N° 1333 por D.S. N° 24176 de 8 de Diciembre de 1995 se contempla los siguientes reglamentos:

- Reglamento General de la Gestión Ambiental.
- Reglamento para la Prevención y Control Ambiental.
- Reglamento en materia de Contaminación Atmosférica.
- Reglamento en materia de Contaminación Hídrica.
- Reglamento para Actividades con Sustancias Peligrosas
- Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos.

De igual manera el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM) D.S. N° 26736 del 30 de Julio de 2002, respecto al medio ambiente y al recurso hídrico, establece en unos de sus artículos lo siguiente:

Art. 2.- (Objetivos).- Los objetivos del presente reglamento son: reducir la generación de contaminantes y el uso de sustancias peligrosas, optimizar el uso de

recursos naturales y de energía para proteger y conservar el medio ambiente; con la finalidad de promover el desarrollo sostenible.

Art. 71.- (Fuentes). Con el objetivo de regular las actividades de las industrias que puedan contaminar el medio hídrico, se considera de prioritaria atención y control las siguientes fuentes:

- a) Procesos que generen residuos líquidos
- b) Procesos térmicos que utilicen agua
- c) Vertido o derrame de líquidos
- d) Operaciones de limpieza de materias primas, equipos y ambientes.

2.3. SITUACIÓN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS EL RANCHO

La industria de productos lácteos El Rancho, está sujeta a las disposiciones legales y vigentes de la Ley N° 1333 del Medio Ambiente, más concretamente al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica y al Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero RASIM, que tiene como objetivo regular la prevención de la contaminación y control de la calidad de los recursos hídricos. Define el sistema de control de la contaminación hídrica y los límites permisibles de los potenciales elementos contaminantes, así como de las condiciones fisicoquímicas que debe cumplir un efluente para ser vertido en uno de los cuatros tipos de cuerpos receptores definidos.

De acuerdo al capítulo IV de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, en sus artículos más sobresalientes del presente Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica establece lo siguiente:

Art.19.- Las obras, proyectos y actividades que estén descargando o planean descargar aguas residuales a los colectores del alcantarillado sanitarios de los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado o de parques industriales, no requerirán permiso de descarga ni la presentación del informe de caracterización, en las siguientes situaciones:

a) Las obras, proyectos o actividades en proceso de operación o implementación deberán incluir, en el Manifiesto Ambiental (MA) fotocopia legalizada del contrato de descarga a los colectores sanitarios suscritos con los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado o administraciones de parques industriales correspondientes.

Art. 23.- Las descargas de aguas residuales crudas o tratadas a los colectores de alcantarillado sanitario serán aceptables si a juicio del correspondiente Servicio de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado o la administración del parque industrial no interfieren los procesos de tratamiento de la planta ni perjudican a los colectores sanitarios; con los criterios a aplicar en cuanto a los límites de calidad de las descargas serán los siguientes:

a) En caso de parques industriales con plantas de tratamiento en operación, los límites de calidad de las descargas industriales a los colectores del parque serán fijados por su administración, velando porque no interfieran con los procesos de tratamiento ni perjudiquen a los colectores sanitarios.

b) Para los casos de parques industriales sin plantas de tratamiento, que descargan a los colectores del alcantarillado sanitario, los límites de calidad serán fijados por la Administración del Servicio de Abastecimiento de Agua y Alcantarillado, propietaria de los colectores.

Con respecto a la categorización de la industria al RASIM establece lo siguientes:

Art. 6.- (Alcance específico). Las industrias de Categorías 1, 2 y 3 del Anexo 1 deberán cumplir todas las disposiciones del presente Reglamento. Las industrias de Categoría 4 no se hallan sujetas al cumplimiento de los Capítulos II, III, IV, V, VI, VII del Título III, debiendo cumplir el resto de las disposiciones del presente Reglamento.

2.4. ASPECTO LEGAL

En vista de los antecedentes establecidos, con la proyección de ésta industria, surge la necesidad de realizar acciones de control y tratamiento de las aguas residuales de la industria de productos lácteos El Rancho, debido sobre todo al vertido de las aguas residuales a la red de alcantarillado es ilegal porque no tiene un convenio firmado para verter sus aguas residuales, porque sobrepasan los niveles de carga orgánica exigidos por la misma, y dificulta el tratamiento de aguas residuales en la laguna de oxidación de San Luís, de acuerdo a la gestión ambiental establecida por el Ministerio de Desarrollo y como consecuencia de la promulgación de la Ley N° 1333 del Medio Ambiente y su reglamento en materia de contaminación hídrica, se deberá gestionar la implementación de una planta de tratamiento de las aguas residuales, para poder cumplir con los límites establecidos por el Reglamento Técnico de Lanzamiento de Aguas Residuales COSAALT Ltda., para el RASIM, esta industria se encuentra en la categoría 4 establecida por la Instancia Ambiental del Gobierno Municipal (IAGM).

2.5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE LÁCTEOS EL RANCHO

La planta industrial de productos lácteos El Rancho se encuentra ubicada en la zona el Tejar calle España # 0250 esquina pasaje Soruco, esta empresa fue creada el 21 de noviembre de 1997. Primero nació con fin comercial luego a raíz de hacer de esta empresa no solo comercial si no también productora e industrializadora se crea El Rancho. Sus colindancias son las siguientes:

- **Este** con el Campus Universitario
- **Oeste** con edificios de viviendas de propiedades particulares.
- **Norte** con el pasaje Soruco
- **Sur** con edificios, casas, fotocopiadoras, pequeños negocios que prestan servicios a la comunidad universitaria en general.

En la siguiente figura 2-1 se muestra la localización geográfica vía satelital de la planta industrial de productos lácteos El Rancho.

Figura 2-1

Planta Industrial de Lácteos “El Rancho”



Fuente: Google Earth, 2012

Gráficamente la planta de elaboración de productos lácteos El Rancho esta dentro de las coordenadas de latitud de 21°32'32.03" Sud, longitud 64°43'20.07" Oeste y una altitud de 1864 m.s.n.m.

2.6. VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DEL PROYECTO

A continuación se describe los medios de accesos al área del proyecto en estudio.

➤ Vías de comunicación

La planta industrial se encuentra en la ciudad de Tarija, conectada hacia el norte con la ciudad de Potosí, Oruro y La Paz mediante la ruta Panamericana la cual se encuentra expedita durante todo el año, mediante una ruta intermedia, también se encuentra conectada con ciudad fronteriza de Villazón (frontera con la Argentina). Hacia el sur con la ciudad de Bermejo y Yacuiba, la mayor parte del camino es ripiado y se encuentra expedita durante todo el año.

➤ Vías de comunicación aérea

Con el aeropuerto internacional Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija, con vuelos diarios a las principales ciudades de Bolivia, el aeropuerto está diseñado para aeronaves comerciales medianas y militares.

➤ Transitabilidad

La transitabilidad es normal durante todo el año, a la ciudad de Tarija por varias vías terrestres (camino vehicular ripiado y con gran parte asfaltado) desde La Paz, Cochabamba, Oruro, Santa Cruz, etc., la ruta tiene zonas de bifurcaciones de caminos consolidados que parten de la ruta del eje central, y la mayor parte de estos tramos se encuentran expeditos durante el año.

2.7. DESCRIPCIÓN FÍSICO NATURAL DEL ÁREA CIRCUNDANTE AL PROYECTO

➤ Aspectos abióticos

Clima

La planta industrial de productos lácteos Del Rancho, se encuentra en el Valle Central el cual se caracteriza por presentar un clima sub-húmedo seco-templado. De la estación meteorológica zona “El Tejar”, dan una pauta de las características climáticas de la zona.

Precipitación pluvial promedio anual	707.7 mm.
Humedad relativa anual	80,2 %
Temperatura promedio anual	18,5 °C
Temperatura máxima promedio anual	26,9 °C
Temperatura mínima promedio anual	10,2 °C
Dirección vientos predominantes	Sudeste
Velocidad promedio del viento	5,9 Km/h

En cuanto a los recursos hídricos que rodean al área de estudio del proyecto se mencionan a continuación:

Recurso Hídrico (Alrededor del área del proyecto en estudio)

Nombre	Permanente o intermitente	Caudal estimado en tiempo de estiaje (l/s)	Actividad para la que se aprovechan	Observaciones
Río Guadalquivir	Permanente	881	Fuente de agua, riego y recreación	Ubicado a 0,52 km al proyecto.
Quebrada el Monte	Permanente	20-30	Ninguno	Ubicado a 0,31 km al proyecto.

Lagos, pantanos y embalses naturales/artificiales

Nombre	Localización y distancia al Proyecto	Volumen estimado	Observaciones
Embalse de San Jacinto	A 8 km, al sud oeste del proyecto.	$V_{\text{mínimo}} = 16000 \text{ Hm}^3$ $V_{\text{máximo}} = 65819 \text{ Hm}^3$ $V_{\text{medio}} = 41000 \text{ Hm}^3$	Se utiliza para energía eléctrica, riego y actividades recreativas
Laguna de oxidación (planta de Tratamiento)	A 3,5 km al sud este del proyecto	$V_{\text{medio}} = 0,38 \text{ Hm}^3$	Lagunas artificiales para tratamiento de aguas residuales de Tarija

➤ Aspectos bióticos

Flora

La vegetación natural predominante corresponde a una estepa arbustiva semiseca y vegetación secundaria degradada y de poca cobertura, formando estratos arbóreos arbustivos y herbáceos a lo largo de quebradas, ríos, torrentes y algunas laderas.

En especies predominantes son el churqui, algarrobo blanco, algarrobo negro, el molle, pino del cerro, la jarca, el chañar, el aliso, la chilca, tusca y la thola. En cuanto a la vegetación de interés comercial, tenemos, al pino del cerro y aliso, y como área protegida natural, se encuentra la reserva biológica de la cordillera de Sama.

Fauna

La fauna típica de valles andinos en etapas de desaparición debido a la intervención de la mano del hombre, entre la fauna endémica de la región tenemos a la comadreja, el vampiro, el zorrillo, la liebre, la vizcacha, el pato de las torrenteras, zorro. La

especie en peligro de extinción se encuentra el león americano, el cóndor, la liebre y comadreja.

➤ **Aspectos socioeconómicos y culturales**

El número de habitantes de la población civil de acuerdo al INE 2001 es de 176,115 habitantes.

Grupos étnicos

Raza mestiza (Chapacos)

➤ **Áreas Arqueológicas e Históricas**

La ciudad de Tarija se encuentra sobre un importante yacimiento de restos paleontológicos de la era cuaternaria, donde hay también sepulturas y yacimientos arqueológicos.

➤ **Actividad Económica Principal**

La economía del departamento está en la explotación del petróleo crudo y gas natural, transporte y comunicaciones, comercial, la agricultura y las industrias manufactureras de alimentos.

Fuente: SENAMHI (2012). Proyecto Múltiple de San Jacinto (2012). Áreas Protegidas del Dpto. de Tarija. (2004).

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

A continuación se describe las etapas de producción de los distintos productos elaborados en la planta de lácteos El Rancho.

3.1.1. RECOLECCIÓN DE LA LECHE

Un vehículo de la empresa se encarga de recoger la leche de los centros de acopio de las comunidades del valle central de Tarija, en tachos de 50 litros una vez al día, al llegar los tachos con leche hasta la planta, se procede al control de calidad de la leche, la empresa selecciona la leche cruda para ser procesada dependiendo su calidad, higiénica-sanitaria, para esto cuenta con un laboratorio, donde la leche es analizada, y separada según su composición y estado higiénico o bien descartada si no cumple con el estándar mínimo exigida por la empresa.

3.1.2. RECEPCIÓN

La recepción de la leche constituye la primera etapa o etapa inicial en la elaboración de productos lácteos. Una vez que se ha comprobado una calidad estable de la leche cruda para su industrialización, los tachos son descargados de forma manual en la tina de recepción de leche que consiste de un tanque rectangular cerrado de acero inoxidable, suspendidos por soportes metálicos en los cuatros extremos, la leche ingresa atravesando una tela metálica inoxidable que retiene impurezas o partículas sólidas de diámetro $> 0,5$ mm que pueda contener la leche para su manipuleo inadecuado.

3.2. PROCESO TÉRMICO

El tratamiento térmico es la parte más importante del proceso, y se utiliza como una técnica de conservación, debido a que la leche cruda es un producto con gran cantidad de sustancias nutritivas, de igual manera es propensa para el desarrollo de microorganismos, por los que es indispensable someterla a un proceso térmico previo a su utilidad a fin de asegurar su calidad sanitaria.

Al someter la leche a altas temperaturas produce algunas alteraciones sobre los componentes naturales de la misma, como así también cambios en su sabor. La temperatura y el tiempo a la cual será sometida la leche, se controla según la necesidad, ya que a mayor temperatura y/o tiempo, mayor serán los cambios que presentará. Cuando se somete la leche cruda a procesos térmicos, muestran los siguientes resultados.

Cuadro III-1
Efectos del proceso en los componentes de la leche

COMPONENTES	EFECTOS DEL PROCESO TÉRMICO
Grasas	Sin cambios
Lactosa	Pequeños cambios
Proteínas	Desnaturalización parcial de la proteína del suero
Sales minerales	Precipitación parcial
Vitaminas	Perdidas marginales

3.2.1. PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE

Este proceso se aplica en todas las industrias lácteas y es obligatorio ante cualquier proceso previo a la elaboración de sus derivados el contenido inicial de gérmenes y bacterias se debe a las malas condiciones de ordeño y manipulación. La pasteurización ayuda a conservar las características de la leche que tiene al momento de someterla a este tratamiento. La conservación es posible gracias a que con este procedimiento se logra la destrucción del 90- 99% de los microorganismos existentes y la desactivación de varias enzimas, que pueden provocar la descomposición de la leche en un corto periodo de tiempo cuando la leche no es sometida a este tratamiento, este proceso consiste en someter a la leche a un choque térmico a temperatura constante durante un periodo de tiempo determinado, el cual es controlado de forma sistemática para garantizar la calidad sanitaria de la leche y, prolongar su tiempo de vida útil.

El intercambio de calor se realiza por cesión de calor de un fluido caliente (agua calentada con vapor) a fluido frío de leche, la circulación de los fluidos es en contracorriente sin mezclarse.

La empresa, selecciona la leche cruda para ser procesada dependiendo de su calidad higiénica-sanitaria, para este control la empresa cuenta con su laboratorio, donde el control de calidad es rutinario, se analiza en cada uno de los tachos de leche tomando una pequeña muestra, realizando el análisis organoléptico, aspecto, olor y sabor, determinándose además el contenido de sólidos no grasos y acidez de la leche, dependiendo de los resultados de estas pruebas se acepta o se rechaza el contenido de leche de cada recipiente.

Basándose en los reglamentos sanitarios de los alimentos la leche debe cumplir con los requisitos que se mencionan en el siguiente cuadro III-2.

Cuadro III-2

Requisitos Establecidos de la Leche para su Industrialización

PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS
LECHE	Características organolépticas normales Exente de materias extrañas Peso específico: 1.028 a 1.034 a 20° C Índice crioscópico: -0.53 a -0.57 “Horvet” ó -0.512 a -0.550 °C pH: 6.6 a 6.8 Acidez: 12 a 21 ml de hidróxido de sodio 0.1 N/100 ml de leche Sólidos no grasos: 82.5 gr por litro, como mínimo Exenta de pus o sangre Exenta de antisépticos, antibióticos y neutralizantes (los plaguicidas o sustancias nocivas)

Fuente: CONAMA, 1998.

Las etapas del tratamiento térmico en la que se incluye la homogenización se describe de la siguiente manera:

3.2.2. DESCREMADO

La leche es conducida hacia la descremadora centrífuga, este equipo utiliza la fuerza centrífuga proporcionado por una gran cantidad de revoluciones para separar, es posible gracias a la diferencia de densidades existentes entre los glóbulos grasos y la fase acuosa, constituye la leche desnatada las impurezas solidas (barro) que quedan en el interior de la centrífuga, el 1% del volumen total (crema) que está compuesta por componentes livianos conteniendo un 40% de materia grasa, circulando el resto de la leche al pasteurizador con un contenido estándar de materia grasa de 0,1-0,3% hacia la siguiente etapa libre de impurezas, esta reducción del contenido de grasa de la leche es conocido como, o descremado, la leche vuelve y esta lista para la posterior etapa.

3.2.3. HOMOGENEIZADO

La homogenización es un proceso físico que realiza la reducción de tamaños de los glóbulos de grasas presente por el paso de la leche a alta presión a través de pequeñas ranuras que solo permite el paso de glóbulos muy pequeños (2-4 μ m), con un choque posterior de las moléculas contra el cabezal de homogenización reduciendo el tamaño una vez más, esto favorece una distribución uniforme de la materia grasa a la vez que se evita la separación de la nata.

3.2.4. ENFRIAMIENTO

La leche homogenizada vuelve al pasteurizador al segundo grupo de placas, en la que fluye en contracorriente con leche que recién está ingresando cediendo parte de su calor sensible, sigue al primer grupo de placas en la que es enfriada y continua cediendo calor, el agua helada proveniente del banco de hielo que absorbe el calor enfriando la leche hasta una temperatura aproximadamente 5°C, este cambio brusco de temperatura completa el tratamiento térmico de la leche, posteriormente la leche es conducida al tanque de almacenamiento para su posterior envasado o se la destina para la elaboración de otros productos .

3.2.5. ALMACENAMIENTO Y ENVASADO

Después de realizar el tratamiento térmico a la leche esta es almacenada en tanque de almacenamiento de acero inoxidable de una capacidad de 1000 litros que cuenta con un sistema de agitación mecánica, una bomba centrífuga impulsa el producto a través de un sistema tuberías hacia cualquiera de las 2 envasadoras automáticas de 1000 l/hr de capacidad de producto a envasar en envases de polietileno de distintos tamaños de acuerdo al producto a envasar. El envasado tiene también entre otros objetivos el de mantener la calidad microbiológica de la leche, proteger de la luz natural o artificial que causan efectos negativos al sabor y los nutrientes del producto.

3.3. ELABORACIÓN DE PRODUCTOS

Los diferentes productos que se elaboran en la planta industrial El Rancho se detallan a continuación.

3.3.1. LECHE PASTEURIZADA

La elaboración de este producto comienza desde la recepción siguiendo etapa tras etapas la línea de proceso anteriormente descrita, la leche cruda es descremada homogenizada y pasteurizada, con lo que es impulsada a un tanque de almacenamiento para ser posteriormente envasada en bolsas de polietileno de 140 y 920 c.c., una vez terminado el proceso se analiza el producto realizándose pruebas de acidez y sólidos no grasos, posteriormente es almacenada en la cámara de frío, estando lista para ser comercializada, distribuida y consumida.

La leche pasteurizada tiene las siguientes características.

- Materia grasa 0,1-0,3%
- Sólidos no grasos 9.1-9.5%
- Densidad 1.030 g/ml

3.3.2. CREMA DE LECHE

La crema es un derivado de la leche que contiene agua con grasa, con un poco de proteína, lactosa, vitaminas y minerales.

La crema es el resultado de concentrar la materia grasa de la leche cruda, se obtiene centrifugando la leche. Primeramente se calienta a la leche a 45°C para que sea más fácil su separación. Porque la crema es menos densa que el resto de la leche al centrifugarla se queda en la parte superior del vaso receptor y la leche se va a la periferia. En la crema se mantiene el glóbulo graso en buen estado, lo que permite que, luego de su procesamiento y envasado, el producto pueda ser batido.

3.3.3. YOGURT

El yogurt se define como aquella leche “cuya fermentación se realiza con cultivos protosintéticos, de *Lactobacillus*, a los que en forma complementaria pueden acompañar otras bacterias ácidos-lácticos que, por su actividad, contribuyen a la determinación de las características del producto terminado”. En consecuencia el yogurt es una leche fermentada a partir de leche enriquecida con otros sólidos como; por ejemplo el agregado de endulcorantes nutritivos (azúcar), esencias y saborizantes.

Elaboración

Lo primero que se realiza es la selección de la leche a utilizar, esta es controlada en contenido graso, acidez, etc. Además no debe contener olores o sabores extraños. La leche es sometida a pasteurización para destruir todos los microorganismos y homogenización, a fin de que los fermentos específicos del yogurt puedan ejercer su función correctamente, sin que la acción de otras bacterias naturales de la leche los perjudique, como también para alcanzar la textura final deseada.

Luego de la pasteurización y homogenización la leche es vaciada en contenedor de aluminio de 50 litros, estos son cerrados y calentados en tinas de hierro, las tinas contienen agua que una vez puestas los contenedores se calientan con vapor

proveniente de la caldera a través de una conexión de tuberías en la base de la tina, después de unos minutos la leche alcanza una temperatura de 45-50°C.

Los contenedores son abiertos y se adicionan el azúcar que es previamente pesado, las esencias y colorantes a cada uno de ellos, se eleva la temperatura de las tinas hasta que los contenedores alcanzan los 85°C, se mantiene a esta temperatura por 30 min se descarga el agua caliente de las tinas llenándose inmediatamente con agua fría para enfriar la leche, los contenedores son agitados manualmente para distribuir los insumos, se descarga el agua de las tinas una vez más llenándose estos nuevamente con agua fría, se realiza la inoculación o adición de fermentos puro, activo y seleccionado de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, bacterias lácticas altamente seleccionadas previamente preparados en el laboratorio, que para su multiplicación producirán la acidez necesaria para la obtención del producto final, se deja reposar hasta que la preparación alcance una temperatura ambiente, los contenedores permanecen cerrados hasta el día siguiente, hasta que se ha alcanzado la consistencia deseada, posteriormente ya están listos para adicionar los diferentes sabores para posteriormente ser envasados en bolsa de polietileno en presentación de 100, 500, 1000 c.c. luego se almacena el producto en cajas plásticas de 200 unidades en la cámara de frío para ser distribuidos y comercializados.

3.3.4. ELABORACIÓN DE LECHE DE SOYA “VIDA SOY”

La empresa utiliza granos de soya seleccionada para la elaborar leche de soya “vida soy” se procede al peso de la soya, posteriormente pasa a la maquina peladora de soya donde se extrae las cascarras, y con ayuda del personal de forma manual se extraen las cascarillas que quedaron después que la maquina realizo la operación, se obtiene la soya acondicionada, esta es trasladado a la máquina trituradora en contenedores de plásticos, se adiciona con una manguera de goma agua caliente aprox. 90 °C esta mezcla de agua y soya facilita la trituración.

El concentrado de soya es llevado al filtro rotatorio con finalidad de separar los residuos sólidos de soya “torta de soya”, esa separación se logra añadiendo agua de forma discontinua, el residuo líquido pasa al tamizado una tela muy fina que retiene los sólidos muy pequeños a través de una bomba centrífuga es transportado al tanque de cocimiento este consta con agitación mecánica se adiciona agua caliente hasta un volumen adecuado por un tiempo de 1.5 hrs. Posteriormente se añaden los insumos como ser: sal yodada, azúcar, canela, sorbato de potasio, aromas artificiales autorizados, mediante una bomba se transporta al pasteurizador y homogenizador previo pasa por un filtro colador, por último es enfriado para ser almacenado en el tanque de recepción que cuenta con agitación mecánica y es envasado en bolsas de polietileno de 140, 920 c.c., posteriormente es transportado hasta la cámara de frío para su comercialización.

3.3.5. REFRESCO DE LINAZA

Este proceso empieza por el pesado de linaza molida y se mezcla con agua caliente a una temperatura de 65 °C en los tachos de 50 litros por un tiempo determinado posteriormente son trasvasado a los tanques de cocción donde se le adiciona la cantidad considerada de agua caliente de acuerdo al volumen del producto que se requiere elaborar, se le agrega los insumos correspondientes como ser: azúcar, ácido cítrico, canela, benzoato de sodio, sorbato de potasio por un tiempo de 1,5 hrs. Este proceso es conocido como la maceración de la linaza. Transcurrido este tiempo, mediante una bomba es transportado al pasteurizador previo pasa por un colador para retener los restos de los residuos sólidos de la linaza, es pasteurizado y homogenizado para garantizar la calidad del producto después de esa etapa pasa al tanque de recepción para su posterior envasado, ya sea en botes de plásticos de 1 o 2 litros, este envasado se lo realiza de forma manual por el personal de la planta también es envasado en bolsas de polietileno de 200, 700 c.c., posteriormente es llevado a la cámara de frío para su respectiva comercialización.

3.3.6. LECHE CON AVENA

Este producto lácteo se procede a su elaboración de la siguiente manera: una vez recepcionado la leche apta para el proceso se transporta en los tachos al tanque de cocción, de manera separada en un tacho de 50 litros se prepara la harina de avena, leche, agua pasteurizada hasta tener una mezcla homogénea, luego es trasvasada al tanque de cocción que contiene leche de acuerdo al volumen de producción, se le adicionan los insumos en cantidad considera azúcar, sorbato de potasio, canela y esencias de vainillas; se mantiene por un tiempo de 45 min. a una temperatura de 90 °C., transcurrido ese tiempo se procede al filtrado y transportado mediante una bomba centrífuga al pasteurizado homogenizado y enfriado, se toma una muestra del producto para el control de acidez que se lo realizada en el laboratorio. Luego es transportado al tanque de almacenamiento para ser envasado en bolsas de polietileno de 130, 920 c.c. luego es almacenado y distribuido.

3.3.7. LECHE CON TOJORÍ

Este producto a elaborar se procede de manera similar a la leche con avena con la diferencia de las harinas para este caso se realiza una mezcla en un tacho de 50 litros harina de tojorí, leche, agua pasteurizada hasta tener una mezcla homogénea, luego es trasvasado al tanque de cocción que contiene leche de acuerdo al volumen requerido para su proceso, se adiciona los insumos como el sorbato de potasio, azúcar, canela, esencias de vainilla, permanece por un tiempo de 45 min. controlando la temperatura de 90°C, transcurrido este tiempo mediante una bomba se transporta hasta el pasteurizador pasa por un filtro colador, es pasteurizado, homogenizado y enfriado, se transporta al tanque de almacenamiento se toma muestras para el control de acidez del producto y se procede al envasado en bolsas de polietileno de 140 y 920 c.c. y almacenado en la cámara de frío para ser comercializado.

3.3.8. SUPERCHOK

La preparación de este producto es sencilla y se realiza partiendo de la leche pasteurizada, se prepara en lotes de acuerdo al volumen a elaborar en un tacho de 50

litros con leche, se adiciona el chocolate disolviendo la cantidad necesaria para preparar la totalidad del lote, se agrega el azúcar, esencias de vainillas y se mezclan con un agitador de forma manual hasta que se disuelvan completamente y la mezcla sea homogénea esto es descargado en la tina que contiene un volumen restante de leche y pasa para ser nuevamente pasteurizada y homogenizada ya como mezcla.

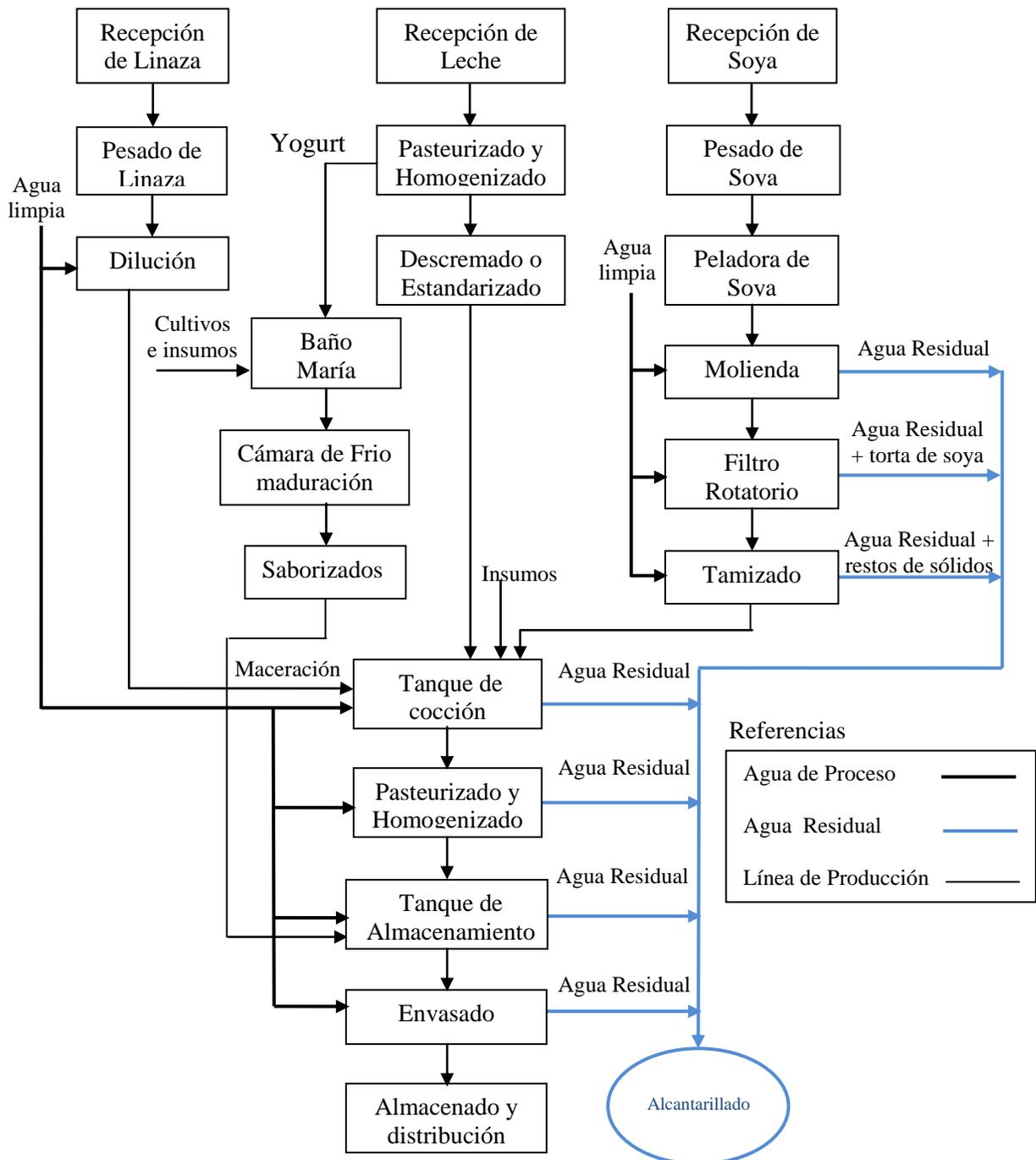
El producto es descargado en el tanque de almacenamiento que cuenta con agitación mecánica, para ser envasado en bolsas de polietileno de 130, 920 c.c. y almacenado en la cámara de frío para su comercialización.

3.4. DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROCESO PRODUCTIVO

En figura 3-1 se muestra el diagrama de proceso actual de elaboración de los distintos productos de lácteos donde se observa las descargas puntuales de aguas residuales y los **flujos de cada componente**.

Figura 3-1

Diagrama del proceso actual de la planta industrial “El Rancho”



Fuente: Elaboración propia.

3.5. GENERACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS EL RANCHO

Las aguas residuales generadas en la industria se caracterizan por su alto contenido en DBO₅, DQO, por una elevada carga de sólidos en suspensión y una carga media de grasas y aceites, entre mayor cantidad de agua se consume dentro del proceso productivo, mayor es la cantidad de agua que se vierte como agua residual pero también es menor la carga orgánica.

A continuación se describe las distintas fuentes de contaminación del afluente en la planta industrial de lácteos:

3.5.1. LAVADO DE TACHOS Y TINAS DE RECEPCIÓN

La mayor cantidad de aguas residuales que se generan es debido a los procesos de limpieza de los recipientes utilizados que contenían leche, siendo distribuidos a los diferentes procesos, cada tacho es lavado y esterilizado manualmente para limpiar todos los restos de leche que aportan a la carga orgánica e inorgánica, primero se lava con agua y detergente, luego se esteriliza con vapor proveniente de la caldera a través de mangueras de goma, y se vuelven a enjuagar con agua dejándolo limpio y listo para ser utilizado posteriormente, bajo la misma técnica se procede al lavado de la tina de recepción. El lavado de los tachos y tinas de recepción genera aproximadamente 187,86 litros de agua residual por día.

Figura 3-2

Lavado de tachos de recepción y trasvases



3.5.2. LAVADO DE LOS TANQUES DE COCCIÓN, RECEPCIÓN Y ENVASADO

Durante el lavado de estos equipos que generan alrededor de 591,15 litros de agua residual por día, estas aguas contienen restos de concentrados de leche de soya, refresco de linaza, derivados de la leche de vaca de los diferentes productos elaborado, también contienen sólidos especialmente de linaza estos son vertidos al canal de rejillas que se dirigen a la cámara de desagüe del alcantarillado sanitario. Este proceso de lavado se realiza después de cada elaboración de los diferentes productos dejándolos limpios para ser reutilizados posteriormente.

En la figura 3-3 se muestra el lavado de los equipos donde se observan restos de residuos tanto del refresco de linaza y derivados lácteos.

Figura 3-3
Lavados de los tanques de cocción



Fuente: Planta industrial El Rancho

3.5.3. LAVADO DEL FILTRO ROTATORIO Y DEL TAMIZ

El lavado de este equipo genera una cantidad aproximadamente de 458,85 litros de agua residual diariamente, cuando se elabora leche de soya en estos equipos estas aguas residuales arrastran restos de sólidos de soya llamados torta de soya a pesar que este residuo se recoge en bolsas plásticas azucareras y lo que queda adherido al equipo se arroja al piso, luego se procede al lavado general del filtro rotatorio, tamiz

y el área donde se ubican estos equipos. El color característico del agua es blanquecino por la leche de soya, estas aguas residuales se dirigen al canal de desagüe.

En la figura 3-4 se observa el lavado de estos equipos que aportan a la carga orgánica.

Figura 3-4
Lavado del filtro rotatorio y del tamiz



Fuente: Planta industrial El Rancho

3.5.4. LAVADO Y EMPUJE DEL PASTEURIZADOR

En los tratamientos térmicos se suelen producir depósitos de proteínas que quedan adheridas a las superficies de los intercambiadores de calor y que posteriormente deben ser arrastrados por la limpieza química, en el proceso de pasteurización y envasado de la leche, el residuo está constituido por las agua de lavado, lo cual se asemeja a una leche muy diluida, el pH variará entre ácido y alcalino, según las sustancias usadas en la limpieza del pasteurizador y de los demás equipos, para este caso se emplea soda caustica para el pasteurizador y detergentes para los tachos y demás equipos.

Para el lavado o empuje de este equipo se emplea bastante agua porque tiene que arrastrar todo el concentrado de los productos elaborados que quedan en el interior de las paredes de los tubos del pasteurizador para este caso se emplea un intercambiador

de placas, estas aguas contienen restos de concentrados de los diferentes productos elaborados, generando alrededor de 1212,44 litros de agua residual por día.

En la siguiente figura 3-5 se muestra el lavado del pasteurizador el color del agua a un principio es color blanquecino por dilución de la leche.

Figura III-5
Lavado del equipo pasteurizador



Fuente: Planta industrial El Rancho

A demás del lavado de todos los equipos también se observa que existen contaminación de las aguas por diferentes causas durante el proceso de elaboración de los productos lácteos como ser: derrame de la materia prima al trasvasar la leche de los tachos a los evaporadores o tanques de cocción que se lo lleva acabo de forma manual, rebose en los tanques de cocción, derrames y fugas en conducciones, fugas en la succión por medio de las bombas, y por último se realiza la limpieza de todo el piso que contiene restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos , álcalis, detergentes, etc.), aportando con una cantidad aproximadamente de 301,62 litros de agua residual por día.

El afluente líquido de la industria láctea presenta como principales contaminantes grasas y grasas, sólidos suspendidos, DBO₅, DQO, y nutrientes. El azúcar

constituyente de la leche denominada lactosa es uno de los principales aportantes de DBO₅, en el proceso productivo que elevan la carga orgánica.

En la tabla III-1 se muestra la cantidad de aguas residuales generadas en el proceso de lavado en las distintas etapas.

Tabla III-1
Balance hídrico de la empresa (promedio mensual)

Proceso de lavado	l/mes	m³/mes
Tachos y tina de recepción	4884,36	4,88
Evaporadores 1, 2, 3 y 4	10160	10,16
Filtro Rotatorio	7950	7,95
Tamiz	3980	3,98
Limpieza y empuje del pasteurizador	31523,51	31,52
Tanques de almacenamientos	3230	3,23
Envasadores	1980	1,98
Sala de proceso y otros	7940	7,94
Tinas para yogurt	6960	6,96
Pérdidas de los productos en distintas etapas	301,62	0,30
Total	78903,85	78,91

Fuente: Elaboración propia.

3.6. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DESCARGA

El caudal y la carga orgánica son parámetros muy importantes para la estimación del costo de una planta de tratamiento de aguas residuales. La determinación del caudal es un auxiliar necesario de las técnicas de muestreo, sin una medición exacta, no es posible establecer el volumen de los desechos que se descargan. (Metcalf& Eddy, 1995).

La medición de caudal de aguas residuales en plantas industriales, presentan muchas dificultades a la hora de determinar el mismo, porque no existen procedimiento universal, ya que los caudales deben medirse en diversas circunstancias y los métodos de medición debe aplicarse a cada condición específica. Se deben tomar en cuenta los diferentes factores como el tipo de dispositivo de medición de flujo, su ubicación, el costo de instalación, la calidad de los datos de flujo.

Para la determinación del caudal en la planta de productos lácteos El Rancho, se utilizó el método de medida volumétrica de descarga, ya que la disposición del vertido de las aguas residuales es inadecuada para la aplicación de otros métodos que determinan el caudal, porque la evacuación de las descargas de las aguas residuales en la planta que se generan durante todo el proceso de elaboración de productos lácteos, se realiza mediante un canal por gravedad que finalmente desemboca a la red de alcantarillado. Las mediciones se determinaron mediante un balde de 20 litros y cronometro, los valores del caudal se medio en 6 días de operación desde las 06:00 a.m. hasta las 02:00 p.m.

El caudal promedio del efluente de la planta industrial se determinó considerando los caudales diarios generados por las distintas etapas del proceso en 6 días de operación ver anexo I.

En la siguiente tabla III-2 se observa los valores promedio del caudal que ingresa al sistema del alcantarillado de COSAALT Ltda.

Tabla III-2
Caudales del Afluente de la Planta de Lácteos El Rancho

Días	Caudal(l/s)	Caudal (m³/día)
1	0,127	3,66
2	0,088	2,54
3	0,082	2,35
4	0,114	3,28
5	0,108	3,12
6	0,130	3,75
Total	0,649	18,7
Promedio	0,108	3,12
Desviación Estándar	0,020	0,57
TOTAL	0,128	3,69

Fuente: Elaboración propia.

3.7. PROYECCIÓN DEL CAUDAL DE DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Como se puede observar se encontró un caudal medio de 3,12 m³/día y una desviación estándar de 0,57 m³/día, por lo que se adoptara como caudal de diseño preliminar, la suma del caudal medio más la desviación estándar positiva, es decir 3,69 m³/día.

Para determinar el de diseño definitivo es necesario proyectar el caudal de diseño preliminar de acuerdo al periodo de diseño, es decir hasta el año 2022. El caudal medio determinado corresponde en la actualidad un 40% en volumen de producción de la planta, al respecto se ha estimado un incremento en volumen de producción de la planta en un periodo de diez años por parte de la oficina de producción de la empresa.

Si se asume que el incremento de la capacidad de producción de la planta en proporcional al incremento del agua residual para el final de este periodo, el caudal de

diseño proyectado es de 5,90 m³/día. Por razones prácticas se asume un caudal de diseño de 6,00 m³/día.

3.8. DETERMINACIÓN DEL AFLUENTE

La determinación del afluente se registró mediante los datos reportados por la empresa encargada del suministro de agua potable, que registra el consumo de agua de la red pública de COSSALT para la planta de producción, los valores registrados son valores mensuales como se observa en el anexo 1, donde se obtuvo un promedio mensual de 277,08 m³/mes.

3.9. LIMITES PERMISIBLES DE PARÁMETROS

Las descargas de efluentes industriales, al sistema de alcantarillado, cualquiera que sea su caudal o condición de lanzamientos, no deberán exceder en ningún caso los valores máximos de parámetros físico-químicos y bacteriológicos admitidos para la descarga de efluentes industriales.

Tabla III-3

Parámetros Máximos Admisibles para Descarga en el Alcantarillado Sanitario

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	VALOR MÁXIMO
Temperatura	°C	40
pH		6.5 a 8.5
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	200
Sólidos Sedimentables	mg/l	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	500
Sólidos flotantes	mg/l	Ninguno que puede ser retenido por malla de 3 mm de claro libre cuadrado
Sólidos suspendidos	mg/l	500
Sólidos totales	mg/l	2000
Grasas y aceites	mg/l	20
Color	UCV	1000
Arsénico	mg/l	1.5
Bario	mg/l	1
Boro	mg/l	1.5
Cadmio	mg/l	1.5
Cobre	mg/l	1.5

Cromo hexavalente	mg/l	1.5
Mercurio	mg/l	1.5
Plomo	mg/l	1.5
Selenio	mg/l	1.5
Cianuro	mg/l	0.5
Fenoles	mg/l	0.5
Detergentes (ABS y LAS)	mg/l	5
Nitrógeno total (NO ₃)	mg/l	100
Zinc	mg/l	1.5
Hierro	mg/l	15
Magnesio	mg/l	500
Manganeso	mg/l	1.5
Calcio	mg/l	700
Cloruros	mg/l	500
Cromo total	mg/l	1
Níquel	mg/l	2
Plata	mg/l	1.5
Fluoruros	mg/l	10
Sulfuros	mg/l	2

Fuente: COSAALT Lda.

3.10. PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS DEL EFLUENTE INDUSTRIAL

En el siguiente cuadro II-2 observamos los parámetros que se exigen, en el vertido al Alcantarillado Sanitario, de los efluentes provenientes de la industria de productos lácteos.

Cuadro III-2
Industrias de Productos Lácteos

Parámetros	Unidades
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l
pH	H ⁺
Sólidos en Suspensión	mg/l
Temperatura	°C
Color	UCV
Grasas y aceites	mg/l
Nitrógeno	mg/l
Fósforo	mg/l

3.11. MUESTREOS

Para este trabajo se llevo adelante la toma de muestras de las aguas residuales en el punto próximo a la descarga, donde se observa una buena mezcla de las aguas residuales de todo el proceso para cada uno de los distintos productos elaborados. Para los parámetros microbiológicos se recolectó las muestras en frascos esterilizados proporcionados por el laboratorio del CEANID, el traslado de las muestras al laboratorio es muy importante, ya que es necesario mantener las mismas condiciones en el momento del muestreo. Los resultados de las muestras son comparados con los límites permisibles para efluentes en el alcantarillado emitidos por COSAALT Ltda., y tabulados para ser usados en el diseño de los equipos.

3.12. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE LÁCTEOS EL RANCHO

La determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales son precisas para conocer la concentración de la carga contaminante del afluente, estas características nos ayudará a seleccionar una tecnología adecuada para su posterior proceso de tratamiento eliminando los componentes contaminantes. La caracterización de las aguas residuales es uno de los aspectos más importantes para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

Los resultados de las características fisicoquímicas del agua residual de la planta de lácteos El Rancho que ingresan al canal de desagüe del alcantarillado de la línea de producción de lácteos se muestran en la tabla III-4.

Tabla III-4

Resultado de las aguas residuales de la línea de producción de lácteos

Parámetros	Unidades	Muestra 1 19/05/2011	Muestra 2 16/08/2011
Temperatura	°C	23,8	24,7
pH		6,95	6,83
S. en Suspensión	mg/l	484	350
S. Sedimentables	mg/l/h	1,2	0,3
DBO ₅	mg/l	783	594
DQO	mg/l	2056	1712,5
Color	UCV	6	15,5
Grasas y aceites	mg/l	0,29	-----
Nitrógeno Total	mg/l	72,56	30,7

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” UAJMS

Como segunda línea de producción de la planta industrial se tiene la elaboración de refresco de linaza, las características fisicoquímicas de las aguas residuales de ésta línea de producción se muestran en la tabla III-5.

Tabla III-5

Resultado del agua residual de la línea de producción de refresco de linaza

Parámetros	Unidades	Muestra 1 05/06/2012
*Temperatura	°C	30,4
*pH		4,29
S. en Suspensión	mg/l	11350,0
S. Sedimentables	mg/l/h	175,0
*S. Disueltos Totales (TDS)	mg/l	260
DBO ₅	mg/l	2540
DQO	mg/l	6420,0
Grasas y aceites	mg/l	423,00
Nitrógeno Total	mg/l	332,70
Fósforo Total	mg/l	76,50

Fuente: *Elaboración propia, CEANID, COSAALT, 2012.

En la tercera línea de producción de la planta tenemos la elaboración de la leche de soya y los resultados de las características fisicoquímicas de las aguas residuales de de ésta línea de producción en el punto de descarga al desagüe del alcantarillado, estos valores se muestra en la tabla III-6.

Tabla III-6

Resultado del agua residual de la línea de producción de leche de soya

Parámetros	Unidades	Muestra 1 11/06/2012
*Temperatura	°C	30.5
*pH		6,82
S. en Suspensión	mg/l	5850
S. Sedimentables	mg/l/h	200
*S. Disueltos Totales (TDS)	mg/l	220
DBO ₅	mg/l	2852,0
DQO	mg/l	9790,0
Grasas y aceites	mg/l	304,0
Nitrógeno Total	mg/l	330,0
Fósforo Total	mg/l	49,50

Fuente: *Elaboración propia, CEANID, COSAALT, 2012.

Por lo tanto la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de lácteos El Rancho representa una cantidad considerable de DBO₅ 2532,83 mg/l lo que equivale a 15,20 kg/día de DBO₅ y de DQO 5629,75 mg/l equivalente a 33,78 kg/día de DQO para un caudal de 6 m³/día.

En la siguiente tabla III-7 se puede observar los resultados de las muestras promedios que sobrepasan o exceden y un parámetro que está por debajo de los límites permisibles para la descarga de efluentes en el alcantarillado sanitario de COSAALT Ltda.

Tabla III-7

Análisis comparativos de las muestras promedios con los límites permisibles

Parámetros	Unidades	Muestras Promedios	Límites Permisibles
S. Suspensión	mg/l	5559,83	500
S. Sedimentable	mg/l/h	125	20
DBO ₅	mg/l	2532,83	250
DQO	mg/l	5629,75	500
Grasas y Aceites	mg/l	363,50	20
Nitrógeno Total	mg/l	238,14	100
pH		4,56	6,5 a 8,5

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos convencionales son costosos y poco eficientes por lo que se han tratado de investigar y desarrollar procesos que mejoren estas deficiencias, uno de estos procesos es el anaerobio que había sido utilizado durante muchos años en el tratamiento de efluentes industriales con altas concentraciones de materia orgánica, así como la estabilización de lodos biológicos generados en la depuración aerobia de aguas residuales, dentro de los tratamientos biológicos, el más recomendable para el tamaño de plantas que se operan, es el tratamiento anaerobio; este proceso anaerobio presenta ventajas como la baja producción de lodos, no requiere de oxígeno, alta eficiencia de remoción de cargas orgánicas, costo inicial es bajo, sencillos de operar y construir, además se puede obtener productos útiles como el biogás, si fuera el interés. Dadas sus ventajas a nivel de eficiencia técnica y económica.

Los procesos biológicos anaerobios vienen siendo ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas residuales agroindustriales como; la de fabricación de bebidas alcohólicas, productos lácteos y cárnicos. Estos sistemas son más eficientes y económicos cuando hay elevada concentración de compuestos orgánicos biodegradables, debido a sus ventajas respecto a los procesos aerobios, la digestión anaerobia es una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea tomando en cuenta las características fundamentales de las aguas residuales de la industria, previo un tratamiento de sedimentación, para favorecer las condiciones de operación en la digestión anaerobia.

4.1. EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROPUESTO PARA LA PLANTA INDUSTRIAL DE LÁCTEOS DEL RANCHO

Para el tratamiento de las aguas residuales de la planta industrial de lácteos El Rancho se emplearán los siguientes equipos necesarios con la finalidad de reducir la carga contaminante, entre ellos:

- Cámara de sedimentación como tratamiento primario.
- Tanque homogeneizador o tanque pulmón como alimentador a los digestores.

- Se usará 2 unidades de Tanques Digestores, para dar lugar a la limpieza del digestor o por alguna interrupción por causa ajena, se conectará automáticamente el segundo digestor para dar continuidad al sistema de tratamiento del afluente. Esto como tratamiento secundario, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), provisto de un lecho de inoculación, soporte de poco peso (material plástico) y crecimiento de microorganismos.

4.1.1. SEDIMENTACIÓN

Este es un proceso del tratamiento primario donde se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. El efluente que procede del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y un DBO_5 alta. En este proceso unitario se decanta el agua de acuerdo a cierto periodo de tiempo en un tanque de decantación, produciendo así un efluente líquido clarificado en una línea, y un fango líquido sólido en una segunda línea de calidad considerable para ser aprovechado en la siguiente etapa de tratamiento y lograr una separación de sólidos que formen un fango primario el cual puede ser convenientemente tratado y vertido.

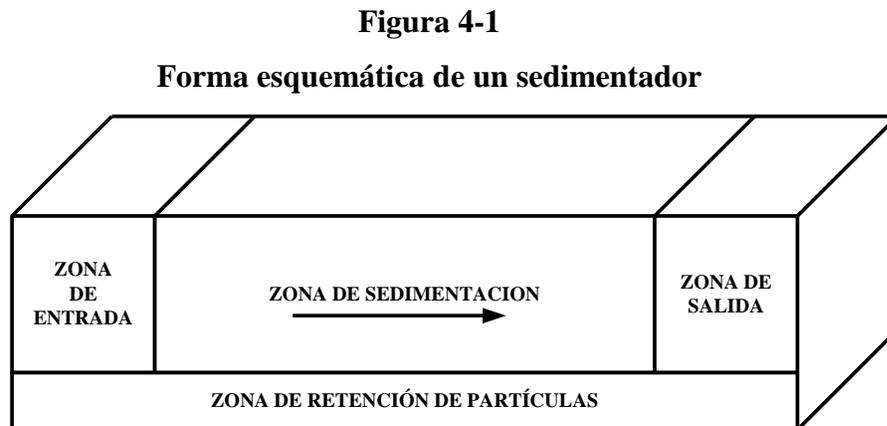
La sedimentación se realiza en decantadores que pueden ser circulares, rectangulares o cuadrados. El decantador se diseña para lograr tiempos de retención de 2 horas aproximadamente; en este periodo de reposo las partículas en suspensión decantan al fondo como lodo y mediante rasquetas se desplazan hacia una tolva central desde donde se extrae el lodo. El agua clarificada rebosa por un vertedero perimetral en la superficie del decantador, a una velocidad denominada velocidad ascensional o velocidad de sedimentación. Los criterios de diseños que se usan para el decantador primario son los siguientes: (Kiely, G. 1999).

- Velocidad ascensional (carga superficial $m^3/día /m^2$)
- Profundidad
- Geometría superficial
- Tiempo de retención hidráulica

- Carga sobre vertedero ($\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$)

El rendimiento de una decantación primaria no depende exclusivamente de las variaciones del caudal del afluente. El exceso en los tiempos de retención origina la septicidad ya que no se da el proceso de mezcla en la decantación primaria. El proceso de sedimentación puede reducir de 25 a 40% de DBO_5 y 50 a 70 % de sólidos en suspensión. (Romero J., 1999).

En la siguiente figura 4-1 se muestra un sedimentador de forma esquemática donde se puede ver la zona de entrada, zona de sedimentación, zona de retención de sólidos o partículas y la zona de salida.



Fuente: Arboleda J., 1992.

4.1.2. HOMOGENEIZACIÓN

Este proceso suele ser imprescindible en la industria láctea, ya que al generarse durante los lavados aguas muy acidas o alcalinas, podría provocar un vertido que impidiese cualquier tratamiento biológico posterior.

Para que una depuradora de aguas residuales pueda tratar un afluente sin dificultad puede ser necesaria la homogeneización (equilibrado) de muchos de los parámetros del propio afluente. Éstos pueden incluir uno o más de los siguientes:

- Homogeneización del caudal
- Homogeneización orgánica
- Equilibrado del pH (neutralización o corrección del pH)

La homogeneización y neutralización se llevan a cabo en un tanque pulmón para aguas residuales, esto es habitual en las industrias que operan 5-6 días de la semana. Aquí el caudal se iguala o se reparte en un periodo de 7 días así que el caudal que llega a la siguiente etapa de tratamiento es el mismo durante cada uno de los 7 días. En el caso de la homogeneización de la carga contaminante, una industria puede tener efluentes con altos valores de DQO varias veces durante la semana unas pocas horas. Si esto se enviase directamente a la depuradora puede causar una carga de choque con los consiguientes problemas. Por lo tanto es normal equilibrar la carga alta para mantener una carga uniforme. De la misma manera que se realiza un equilibrado de pH (neutralización) cuando el afluente a la depuradora posea valores de pH muy bajos o muy altos para un tratamiento secundario óptimo. (Kiely, G. 1999)

4.1.3. DESENGRASADOR

Ese proceso es muy importante en la industria láctea, la cual genera una cantidad considerable de grasas y aceites, estas tienen que ser retiradas antes que el afluente pase a la siguiente etapa de tratamiento de la digestión anaerobia, para evitar obstaculizar el proceso de tratamiento generando olores indeseables.

Par este caso se midió en forma experimental, tomando en cuenta las aguas generadas en el lavado y limpieza del pasteurizador una muestra representativa, dando un valor de pH de 9,2 a 11,9 como se ve es básico porque se usa sosa caustica (NaOH) para el lavado y limpieza del respectivo equipo. Se produce en este proceso una saponificación parcial de las grasas y aceites.

Atendiendo este comportamiento, se observa a través del cambio de pH que al principio presenta un pH prácticamente ácido (4,56), posteriormente cuando se

mezclan las distintas corrientes de aguas de lavado se eleva el valor del pH de 6,5 a 8 **que resulta ser óptimo para la degradación anaerobia**, también se observó el cambio de color de la solución del afluente de color blanquecino a amarillento, que está asociado con la saponificación en proceso de las grasas y aceites que están en suspensión.

Esta autosaponificación de las grasas y aceites presentes en el afluente, nos permiten determinar experimentalmente la materia grasa transformada en suspensión que podrá ser retirada en el sedimentador. De tal forma se evitará la acumulación de grasas y aceites en la cámara de digestión ya que la acumulación de éstas puede provocar la proliferación de olores desagradables en la siguiente etapa de tratamiento anaerobio.

En la siguiente figura 4-2 se observa el cambio de color del afluente al adicionarle una solución básica generada en el lavado y limpieza del pasteurizador, izquierda afluente sin solución básica, derecha afluente con solución básica.

Figura 4-2
Diferencia entre afluentes al adicionar una solución básica (NaOH)



Fuente: Industria de lácteos El Rancho

4.1.4. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE “FAFA”

Una de las alternativas tecnológicas para la depuración de aguas residuales que ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas ha sido la de los tratamientos biológicos en ambientes anaerobios. (Giraldo, 1993).

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido propuesto por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento anaerobio es el más sencillo de mantener porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo. (Romero J., 1999).

En el filtro el agua residual fluye, sobre o través de una masa de sólidos biológicos, contenido en un reactor con material de empaque. La biomasa en el reactor puede estar adherida a la superficie del medio en forma de biopelícula, o estar en suspensión en el líquido como lodo granular o floculento. Los compuestos orgánicos solubles y los nutrientes existentes en el agua residual afluyente se difunden dentro de los sólidos biológicos, adheridos al medio o en suspensión, convirtiéndose en los productos intermedios y finales propios de la digestión anaerobia. (Castaño, 2003).

El proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo; las pérdidas de energía a través del lecho son mínimas. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento de piedras, anillos de plásticos o bioanillos de plásticos colocados al azar, sin embargo estudios han demostrado que el empleo de materiales plásticos tubulares permite el tratamiento de aguas residuales con mayor carga orgánica y con una más alta concentración sólidos, ya que son materiales de una mayor porosidad y permiten una mejor distribución de flujo (Parra, 2006). El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado; el proceso se ha usado a bajas temperaturas, pero preferiblemente la temperatura debe ser mayor a 25°C. En estudios hechos en Brasil se indica que estos filtros logran remociones de DBO₅ del

80%, con lechos de piedra de 4 a 7 mm y altura de 1,20 m. Otros estudios con residuo de DQO igual a 12000 mg/l, carga volumétrica menor de 4 kg DQO/m³ día, tiempo de retención hidráulica de un día, edad de los lodos de 56 días y temperaturas de 20 a 25°C, indicaron remociones del 88%. (Romero J., 1999).

El proceso (FAFA), requiere de un tratamiento primario que elimine material suspendido del agua, con miras a evitar tempranas obstrucciones del filtro y que ésta caminos preferenciales. Por lo que, el coeficiente de vacío del empaque debe ser grande; con suficiente área específica, debido a la desordenada distribución del soporte; procurarla acumulación lenta pero constante de biomasa, para evitar una inadecuada purga de lodo. No se requiere de la incorporación de separadores de fase, ya que los sólidos suspendidos arrastrados por el biogás hacia la superficie son inmediatamente retenidos por el material filtrante. (Pérez y Villegas, 2004).

Este tipo de reactor es una alternativa para aguas residuales domésticas e industriales de concentración media y alta (superior a 1500 DQO mg/l) y con buen desempeño en el tratamiento de desechos del procesamiento de carnes, la leche, ácido láctico, y otros productos agroindustriales como la caña de azúcar y el café. (Torres, 2003).

En general se pueden nombrar las siguientes ventajas de los filtros anaerobios (Meza, 2001)

- La puesta en marcha puede ser muy rápida.
- Los filtros son muy estables frente a sobrecargas, tanto hidráulicas como orgánicas.
- Debido a la inmovilización de biomasa se pueden alcanzar cargas orgánicas muy elevadas.
- La pérdida de biomasa anaerobia activa del filtro es menor que en otros sistemas.
- Además es un de bajo costo en diseño y mantenimiento, lo que hace que sea una alternativa de depuración de aguas residuales ideales.

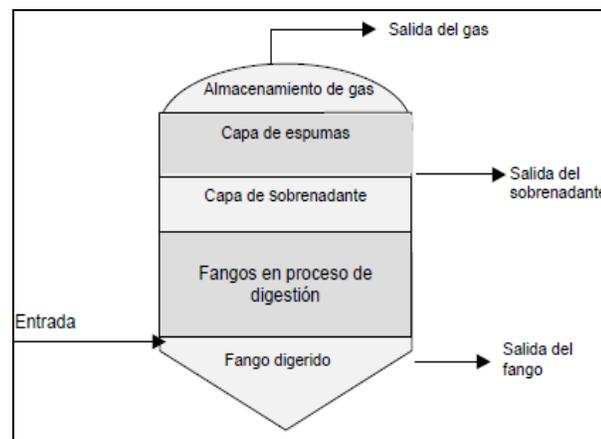
4.1.4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJOS ASCENDENTES

En términos generales el filtro anaerobio de flujo ascendente se constituye de tres zonas funcionales: zona de entrada, zona de empaque y zona de salida.

En la siguiente figura 4-3 muestra la representación esquemática de funcionamiento de un filtro anaerobio de flujo ascendente.

Figura 4-3

Esquema del funcionamiento general de un FAF



Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

➤ Zona de entrada

Los tipos de configuraciones de entrada que se pueden tener en un filtro anaerobio son con o sin falso fondo.

La distribución del caudal por cualquiera de los dos filtros se realiza con una tubería de PVC perforada debe ser uniforme, con el fin de evitar zonas muertas dentro del reactor. En la configuración sin falso fondo, el medio de soporte es ocupado en su totalidad en el volumen del reactor, en este caso es importante cuidar que el material del fondo sea uniforme y de alta porosidad con el fin de evitar taponamientos. Cuando la configuración es con falso fondo, se promueve una zona en la que se forma un floc granular de buena sedimentabilidad y menor riesgo de taponamiento. No obstante esta configuración es más costosa debido a su mayor profundidad. (Castaño, 2003).

➤ **Zona empacada**

En la zona empacada se encuentra el medio filtrante, el cual ejerce influencia sobre la eficiencia, ya que el medio actúa como separador líquido-gas-sólido, también ayuda a proveer un flujo uniforme del agua residual reduciendo las posibilidades de pasos directos a través del reactor, propiciando un mayor contacto de residuo con la masa biológica; además el medio retiene la biomasa adherido o en suspensión, generando altos tiempos de retención celular, indispensable para el correcto funcionamiento del sistema. (Castaño, 2003).

Los medios de soporte pueden estar constituidos por materiales como piedras, bloques cerámicos, espumas, materiales plásticos, conchas de ostras y mejillones, bloques modulares de PVC, granito, esferas de polietileno y bambú. Cualquiera que sea el material del medio de soporte es importante que cumplan algunos requisitos, tales como; ser biológica y químicamente inerte, ser livianos, tener alta porosidad, tener una estructura resistente y ser de costo reducido. (Torres, 2003).

➤ **Zona de Salida**

Esta zona cumple varias funciones importantes los cuales son: recibir el efluente del filtro, evacuarlos y garantizar una correcta y homogénea circulación del mismo a través de todo el sistema, así se evitan cortos circuitos o zonas muertas lo que proporcionará una adecuada eficiencia hidráulica. Cuando se presentan estos tipos de inconvenientes los tiempos de retención hidráulicos calculados en el diseño serán mayores que los reales, como consecuencia podríamos obtener una baja eficiencia del sistema. Tomando en cuenta todos estos aspectos la zona de salida puede ser a través de una tubería perforada o por medio de un vertedero. Estas dos configuraciones garantizan una recolección homogénea a lo largo del sistema. (Castaño, 2003).

4.2. ARRANQUE Y OPERACIÓN DE UN RECTOR ANAEROBIO

El uso de la tecnología anaerobia implica dos etapas fundamentales: el arranque y operación del sistema. Estas etapas generalmente se controlan a través del

conocimiento de lo que entra al sistema de tratamiento: caudal de agua residual y su carga orgánica, así como la existencia o no de sustancias tóxicas en concentraciones apreciables.

4.2.1. ETAPA DE ARRANQUE

El arranque de los sistemas de anaerobios consiste en hacer ingresar el agua residual al sistema y procurar mantener las condiciones idóneas para el desarrollo de la biomasa anaerobia. (Noyola, 1994).

Desde que se inicia el arranque hasta que se considera se ha alcanzado la estabilidad del proceso, lo más importante es la retención de biomasa viable dentro del reactor y su posterior acumulación, aspecto que tiene mucho que ver con la formación de gránulos o “pellets” con tamaños ideales entre 1 y 3 mm de diámetro. La formación de estos gránulos es una característica que distingue a los sistemas de fermentación metanogénica de flujo ascendente, de los otros sistemas anaerobios. (Castro *et al*, 1999, López *et al* 2000).

La duración del arranque depende de los parámetros biológicos, químicos y físicos. El arranque está influenciado por la concentración y composición de las aguas residuales, el volumen, la actividad y la adaptación del inóculo, condiciones ambientales, parámetros de operación y por último la configuración del reactor. Todos ellos se encuentran estrechamente relacionados. (Noyola, 1994).

Una de las causas más frecuentes del mal funcionamiento de los reactores anaerobios es el desequilibrio entre las bacterias productoras y las consumidoras de ácidos. Dicho desequilibrio se debe durante el arranque, a la ausencia de un sistema microbiano maduro. (Giraldo, 1998).

Para el caso en estudio se empleará estiércol de vacuno con lodo de otra planta de tratamiento para el cultivo de los microorganismos anaerobios (lecho de

inoculación), esta etapa llevará un tiempo alrededor de las 2 primeras semanas para la aclimatación de los filtros y para que el manto anaeróbico se adhiera a la superficie del soporte, de tal manera que se hará el control del pH diario manteniendo las mismas entre un rango de 6,5 a 7,5, el material de soporte o relleno que se empleará será trozos de manguera de polietileno con las siguientes características adimensionadas; un total de 4800 unidades para los 2 filtros anaerobios, de 10 cm de longitud y de 1,5 pulgadas de diámetro, debido a que el empleo de materiales plásticos permite el tratamiento de las aguas residuales con mayor carga orgánica, ya que presentan una mayor porosidad del lecho empacado y permiten una mejor distribución del flujo. Pasada estas 2 semanas se dará paso a alimentar diariamente con las aguas residuales del proceso con cantidades adecuadas para el mismo efecto, esto llevará un tiempo alrededor de tres semanas donde ya se debe notar una actividad por el burbujeo de las aguas residuales esto hará notar que ya existe una actividad de los microorganismos anaeróbicos, de tal manera que se generará el desprendimiento del biogás. De esta manera se concluirá con el cultivo de las bacterias anaerobias óptimas para el proceso, de tal manera que se hará una prueba de la actividad metanogénica del lodo esperando que estos arrojen valores de 0,4-1,5 (grDQO/grSV.día), y se dará paso al ingreso de las aguas residuales al tanque del filtro anaerobio esto significa que tardará alrededor de 5 semanas aproximadamente.

4.2.2. ETAPA DE OPERACIÓN

La operación del sistema se inicia una vez superada la etapa de arranque, cuando se alcanzan las condiciones de diseño de carga orgánica e hidráulica y la eficiencia de remoción de materia orgánica proyectada. En esta etapa se espera que el reactor funcione en condiciones de estado estable, en el cual las variables de salida del sistema se mantienen relativamente constantes a pesar de las variaciones temporales en cantidad y calidad del afluente. (Van Haandel, 1994).

De acuerdo con la experiencia reportada en la operación de diversos reactores anaerobios, se tiene entre otras las siguientes conclusiones:

- El origen y naturaleza del agua residual afecta el funcionamiento del reactor.
- Existe una tendencia general a disminuir la eficiencia de remoción cuando disminuye significativamente el tiempo de permanencia del agua residual dentro del reactor, especialmente cuando se alcanzan tiempos menores de 4 horas.
- Los reactores anaerobios presentan mayores eficiencias cuando tratan aguas residuales concentradas, sin embargo se han demostrado sus eficacias en el tratamiento de aguas residuales diluidas.

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

Para este sistema de tratamiento de las aguas residuales de la industria de lácteos El Rancho se diseñaran los siguientes equipos en cada etapa de tratamiento. Se realizará un tratamiento primario de las aguas residuales, para esto utilizaremos una cámara de sedimentación, cuyo fundamento consiste en variar la dirección del flujo dentro de la cámara con tiempos de retención razonables, con el objetivo de lograr la remoción del material sólido flotante, precipitar en el fondo de la cámara el material sedimentable. La extracción de la materia flotante como así también del precipitado se realizará eventualmente de forma manual de acuerdo a las condiciones de operación.

Debido a que el afluente de la industria no es continuo y para una posterior etapa de tratamiento secundario es imprescindible alimentar al reactor con caudales aproximadamente constante para evitar interferencias hidráulicas, el efluente que proviene de la cámara de sedimentación se conducirá a un tanque de compensación y homogenización parcial de los caudales con una capacidad tal que contenga la cantidad suficiente de agua residual para los días en que la industria no esté operando (fin de semana).

También en esta unidad se puede regular el pH mediante la adición de una base (cal o sosa caustica), porque es uno de los parámetros de proceso que afectan el rendimiento de la digestión anaerobia, el caudal de salida será regulado mediante una válvula de regulación.

Posteriormente, el efluente del tanque pulmón será conducido a un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA, configurado de tres partes o zonas funcionales, una zona de entrada, zona empacada y la zona de salida, el fluido es conducido por la parte inferior del filtro el flujo del sustrato es ascendente lo que favorece una retención importante de la biomasa y permanece en su interior durante un periodos de tiempo considerable. Luego pasa a través de un medio filtrante plásticos (trozos de goma) que se encuentra en su interior donde entra en contacto con una película de bacterias

anaerobias que están adheridas en el lecho filtrante, al estar las bacterias fijas se logra la disminución del arrastre de biomasa, estas se encargan de estabilizar la materia orgánica presente en el agua residual. El lodo estabilizado se deposita en el fondo del filtro, y el agua residual filtrada se extrae por la parte superior del mismo. El gas producido durante la digestión anaerobia se deposita en la parte superior del filtro para su posterior evacuación por medio de una chimenea. Los fangos generados por las distintas unidades de tratamiento serán conducidos a la planta de tratamiento de lodos para su disposición final.

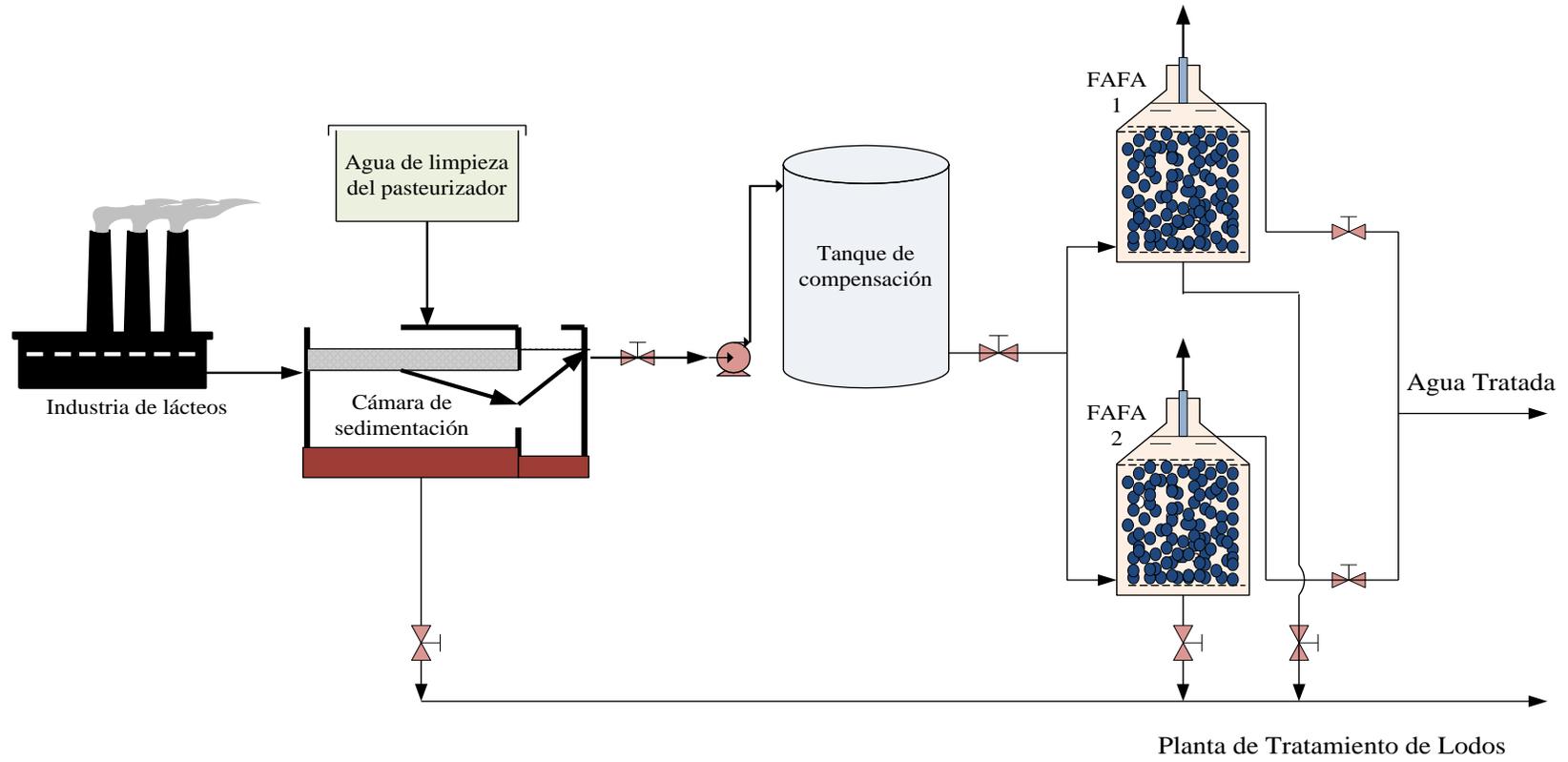
El nivel de tratamiento de la tecnología adoptada, cumple con los niveles del tratamiento permisibles por el Reglamento Técnico de Vertido de Aguas Residuales Industriales al Alcantarillado de COSAALT Ltda.

5.2. DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la industrial de lácteos se muestra en la siguiente figura 5-1.

Figura 5-1

Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de las aguas residuales



Fuente: Elaboración propia.

5.3. BALANCE DE MATERIA

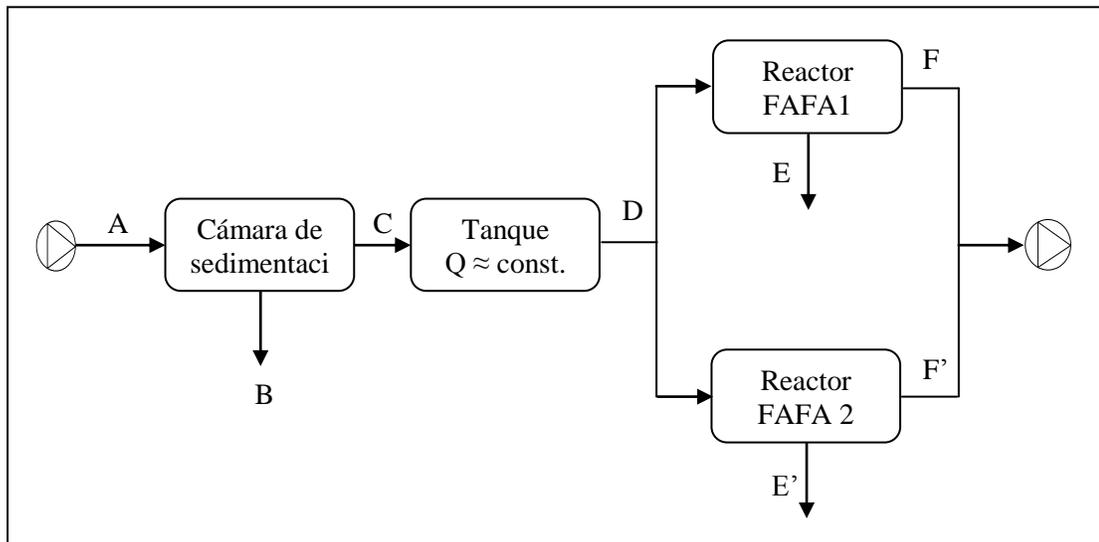
El balance de materia se realizó de acuerdo a los datos reportados en la tabla III-7 correspondiente a los análisis fisicoquímicos del agua residual y de acuerdo al caudal de diseño proyectado correspondiendo a la máxima capacidad de producción de la industria de lácteos con un valor de $6 \text{ m}^3/\text{día}$.

La figura 5-2 nos representa un diagrama de bloques de información, esto nos ayudara a especificar las corrientes de flujo que ingresan y salen en cada etapa de proceso de la planta de tratamiento.

El balance de materia se realizó para el periodo de producción de un día, considerando un mes de 26 días de proceso continuo.

Figura 5-2

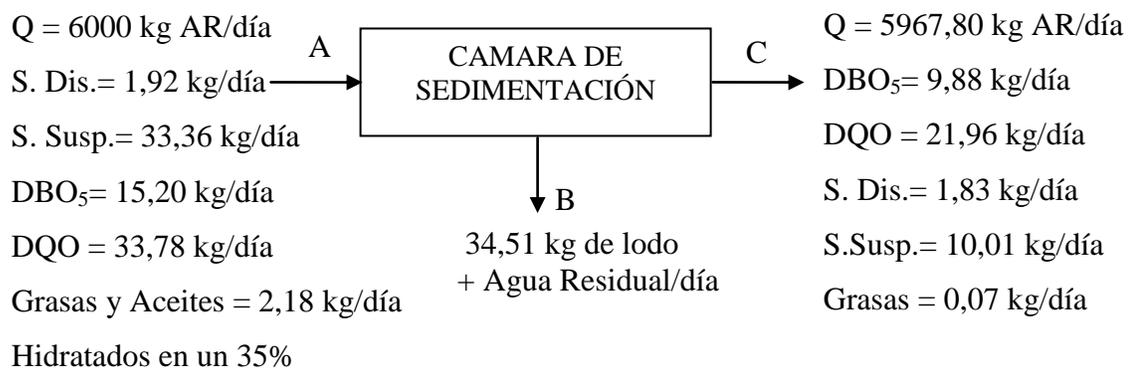
Diagrama de bloques de información



5.3.1. CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

En esta unidad se lleva a cabo la sedimentación primaria con los siguientes beneficios:

- Reducción de sólidos en suspensión, como también de lodos para los tratamientos posteriores con un porcentaje de remoción de 50-70%
- Separación del material flotante (grasas extractables), con una eficiencia alrededor de 90%
- Reducción de la carga orgánica DQO y DBO con eficiencias del 25-40%
- Homogenización parcial del agua residual (caudal y carga orgánica)
- Retención de sólidos sedimentables (1,5 hr) con eficiencias del 100%



AR = Agua Residual

A, B, C = Flujo de entrada y salida del sistema

Balance General:

$$A = B + C$$

B = Se determinó considerando un 70% de sólidos suspendidos, un 5% de sólidos disueltos y un 97 % de grasas y aceites, hidratados en un 35%.

$$B_0 = (0,70 * 33,36) + (0,05 * 1,92) + (0,97 * 2,18)$$

$$B_0 = 25,56 \text{ kg/día}$$

$$B = B_0 + (B_0 * 0,35)$$

$$B = 34,51 \text{ kg de lodos} + \text{Agua/día}$$

5.3.2. HOMOGENEIZACIÓN O TANQUE PULMÓN

El objetivo del tanque pulmón será establecer un caudal de flujo constante, neutralización del pH, para la siguiente etapa de tratamiento secundario.



$$C - D = Ac$$

Donde:

Ac = Acumulación, kg/día

Se considera un mes de 26 días de proceso productivo en la planta industrial de lácteos El Rancho, el flujo necesario para el sistema de tratamiento corresponderá al flujo distribuido en un mes de 30 días.

$$D = (C * 26) / 30$$

$$Ac = 795,40 \text{ kg AR/día}$$

5.3.3. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE “FAFA”

Con este equipo se pretende lograr reducir la carga contaminante de DBO_5 y DQO alrededor de 80 a 95 %, y los sólidos que son arrastrados desde las anteriores etapas de tratamiento son evacuados por la zona de salida de los lodos, que alcanzan un porcentaje de remoción de 95%, en esta etapa se evacuará el gas que se genera por descomposición de la materia orgánica.

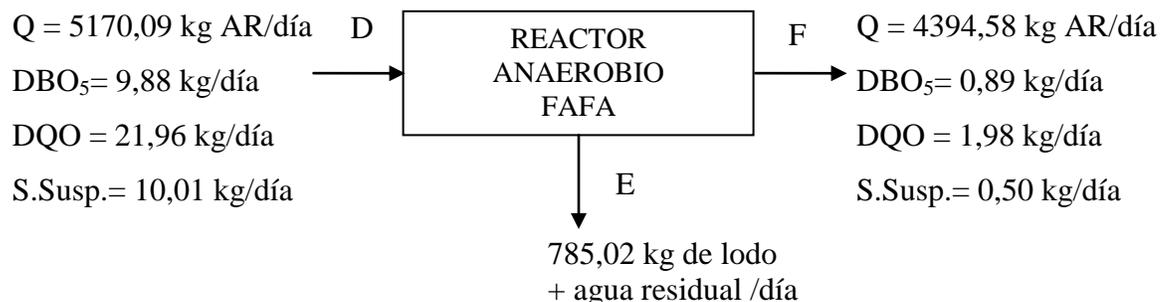
Para esta tecnología se plantea una propuesta de 2 filtros anaerobios por la siguiente razón:

- Se tendrá un afluente de flujo continuo.
- Por razones de limpieza de un filtro ya sea por causa de taponamiento de las tuberías u otro factor.

- Por políticas de la misma empresa al aumentar cambios bruscos en la producción especialmente en épocas de verano.
- Por ende se tendrá un colapso de flujo, aumento del caudal y esto permitirá derivar equitativamente el caudal a ambos filtros.

Por tal motivo se dispondrá de un segundo filtro anaerobio auxiliar que permanecerá a un inicio en reposo, y dependiendo de las operaciones mencionadas anteriormente éste segundo filtro anaerobio estará conectado en paralelo en dirección del flujo del afluente. Y para no demorar bastante tiempo de arranque del segundo filtro anaerobio, se acondicionará con la mezcla de lodo del primer filtro que se encuentra en operación, por referencias de otras industrias del sector no cuentan con un sistema (auxiliar) lo cual impide realizar ajustes adecuado al sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para esta propuesta se considera un porcentaje de remoción de DBO_5 y DQO de 91% y de sólidos en suspensión de un 95%.



Un hidratado de 15 %

$$E = (D * 0,15) + (10,01 * 0,95)$$

$$E = 785,02 \text{ kg de lodo} + \text{agua residual/día}$$

5.4. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS

Para la selección de los equipos de tratamiento primario y secundario de efluentes, en la planta industrial de lácteos El Rancho, se realizó la selección de las distintas

unidades de operación basándose en la caracterización del afluente y su respectivo caudal vertido, también se consideró la localización y el espacio para ello cuenta con un área de aproximadamente 85 m².

Entre otros aspectos, que se consideró fue la facilidad de operación y sus respectivas eficiencias, y por último se tomaron en cuenta los costos de accesibilidad que nos permita su implementación.

5.5. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

A continuación se procede a diseñar y determinar sus respectivas dimensiones de cada uno de los equipos propuestos.

5.5.1. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Datos:

Caudal $Q = 6 \text{ m}^3/\text{día}$

Temperatura $T = 30 \text{ °C}$

Viscosidad cinemática del agua (a 30°C) $\mu = 0,8029 \text{ cm}^2/\text{s}$

Densidad de la partícula $\rho_s = 1,06 \text{ g/cm}^3$

Densidad del fluido $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

Diámetro de las partículas = 0,2 mm

Aceleración de la gravedad $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Suponemos un flujo laminar:

La ley de Stokes es la velocidad de sedimentación en condiciones de régimen laminar.

$$V_s = \frac{1}{18} * g \left(\frac{\rho_s - 1}{\mu} \right) \phi^2 \quad V_s = 1,63 \text{E-}05 \text{ m/s} \quad V_s = 0,00163 \text{ cm/s}$$

$$Re = \frac{V_s}{\mu} \phi = 4,05 \text{E-}05 < 1 \text{ por tanto es flujo laminar}$$

Para un tiempo de retención de 0,75 horas

$$T_0 = \frac{V}{Q}$$

Para hallar el volumen parcial del sedimentador tenemos:

$$V = T_0 * Q = 0,75 \text{ hr} * 0,75 \text{ m}^3/\text{hr} = 0,56 \text{ m}^3$$

La formula general para el volumen es la siguiente:

$$V = L * B * H$$

$$\frac{L}{B} = 3 - 6; \quad \frac{L}{H} = 5 - 20 \quad ; \text{Pendiente del fondo entre 10\% a 30\%}$$

Suponemos:

$$\frac{L}{B} = 3; \quad \frac{L}{H} = 5 \quad ; \text{Pendiente del fondo 20\%}$$

Por tanto:

$$B = \frac{L}{3} \text{ y } H = \frac{L}{5}$$

$$V = L * \frac{L}{3} * \frac{L}{5} = \frac{L^3}{15}$$

$$L = \sqrt[3]{15 * V} = \sqrt[3]{15 * 1,5} = 2,4 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que la pantalla difusora se tiene que ubicar a 0,7 m por lo tanto tenemos una longitud total de:

$$L = 0,7 \text{ m} + 2,04 \text{ m} = 2,74 \text{ m}$$

$$B = \frac{L}{3} = 0,91 \text{ m}$$

$$H = \frac{L}{5} = 0,55 \text{ m}$$

Con una pendiente de 20% en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima:

$$H' = H + 0,2H = 0,55 + 0,11 = 0,66 \text{ m}$$

Entonces el volumen total del sedimentador tomando en cuenta estas condiciones es:

$$V = 2,74 * 0,91 * 0,66 = 1,64 \text{ m}^3$$

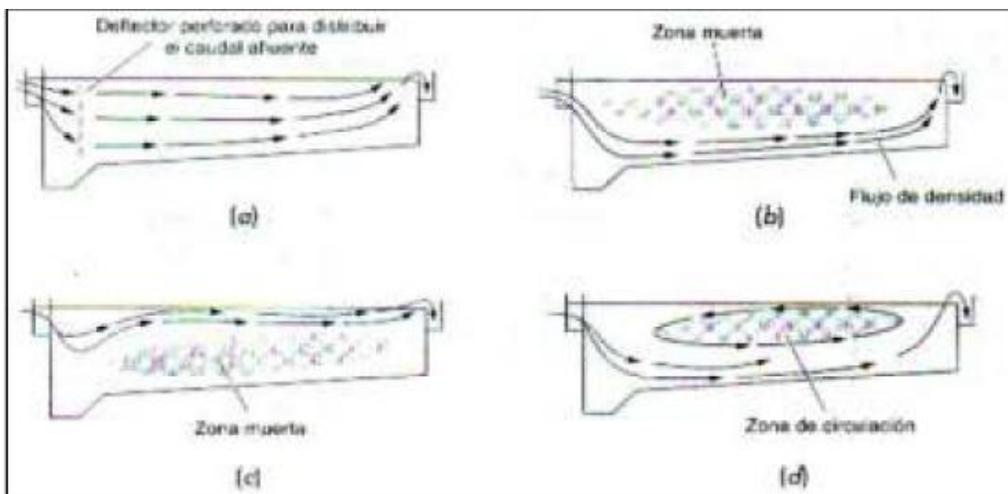
Zona de entrada del sedimentador

Para que tenga una distribución equitativa el caudal dentro de la unidad se debe evitar los puntos muertos, la pantalla difusora tiene la función de distribuir uniformemente las líneas de flujo, para lo cual se debe diseñar el máximo de orificios hasta que la estructura del sedimentador lo permita.

Se puede observar en la figura 5-3 las trayectorias usuales de flujo observado en tanques de sedimentación rectangulares: a) flujo ideal; b) efecto causado por corrientes de velocidad; c) efecto causado por estratificación térmica y d) formación de zonas de circulación por acción del viento.

Figura 5-3

Trayectorias usuales de flujo en tanques de sedimentación rectangular



Fuente: CEPIS/OPS, 2005

5.5.1.1. COMPONENTES DE UN SEDIMENTADOR

Zona de entrada.- Es una hidráulica de transición, permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

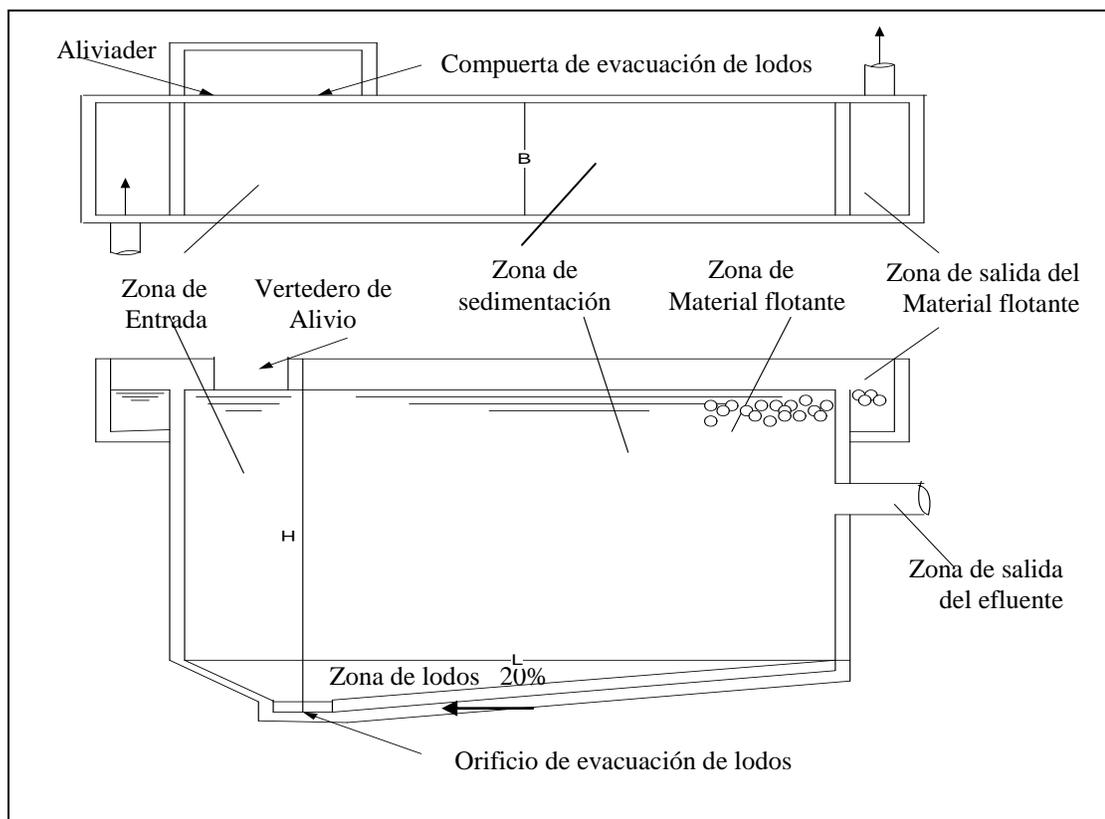
Zona de sedimentación.- Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujos adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

Zona de salida.- Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

Zona de recolección de lodos.- Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, una tubería y válvula para su evacuación periódica. (CEPIS/OPS, 2005).

Figura 5-4

Características de un sedimentador primario



Fuente: CEPIS/OPS, 2005

5.5.1.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANCHA DIFUSORA

Los criterios de diseño que se deben tomar en cuenta son los siguientes:

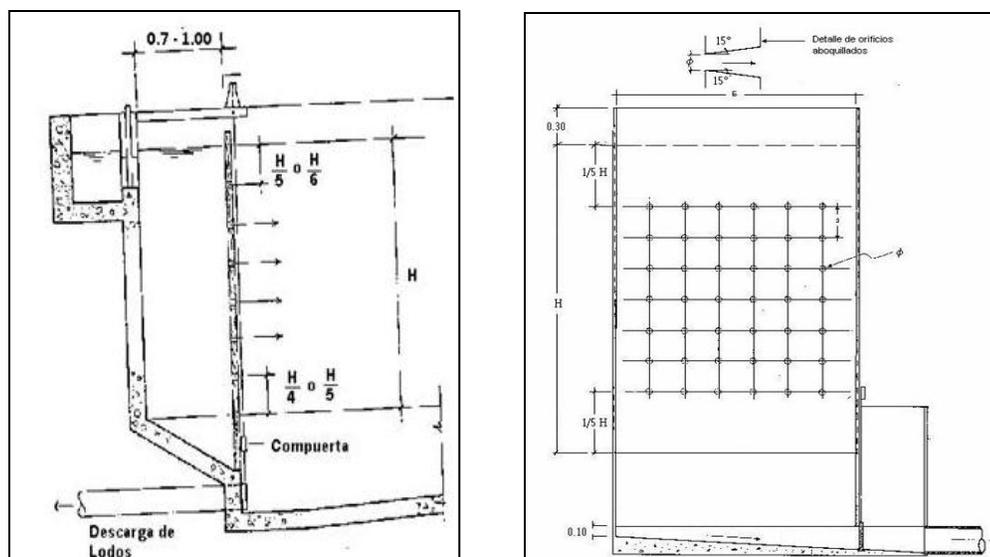
- La distribución uniforme de las líneas de flujo en toda la sección transversal del decantador, se consigue mediante una pared de concreto, provisto de orificios.
- Los orificios deben aboquillarse en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- El primer y el último quinto o sexto de la altura se dejaran sin orificios.
- Se diseña el máximo de orificios constructivamente posibles para evitar que la pantalla produzca espacios muertos.
- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,70 a 1,10 m de distancia de la pared de entrada.

5.5.1.3. DISEÑO DE LA PLANCHA DIFUSORA

En la figura 5-5 se muestran las características de la pantalla difusora en un sedimentador; a) corte longitudinal de un sedimentador y b) distribución de los orificios.

Figura 5-5

Características de la pantalla de un sedimentador



Fuente: CEPIS/OPS, 2005

Para el diseño de la plancha difusora se asume una velocidad de paso entre los orificios $V_0 = 0,1$ m/s.

Determinamos el área total de los orificios mediante la siguiente ecuación

$$A_0 = \frac{Q}{V_0}$$

Se adopta un diámetro de orificio de $d_0=0,025$ m y se determina el área de cada orificio a_0 , y posteriormente se hace el cálculo de los números de orificios.

$$a_0 = \pi * r_0^2$$

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

Determinamos la altura de la pantalla difusora con orificios con la ecuación:

$$h = H - \frac{2}{5} * H$$

Se define el número de filas nf y el número de columnas nc , con esto se determina el espaciamiento entre filas a_1 y el espaciamiento entre columnas a_2 con la siguiente relación:

$$a_1 = \frac{h}{nf}$$

$$a_2 = \frac{B - a_1(nc - 1)}{2}$$

En la tabla V-1 se muestran los valores de los parámetros de diseño de la plancha difusora de flujo, desarrolladas por las ecuaciones descritas anteriormente.

Tabla V-1

Parámetros de diseño de la plancha difusora

Parámetros	Unidad	Valor
Q	m ³ /s	2,08E-4
V ₀	m/s	0,1
A ₀	m ²	2,08E-3
d ₀	m	0,025

a_0	m^2	0,0005
n		4,16
H	m	0,396
n^f		7
n^c		10
a_1	m	0,057
a_2	m	0,2

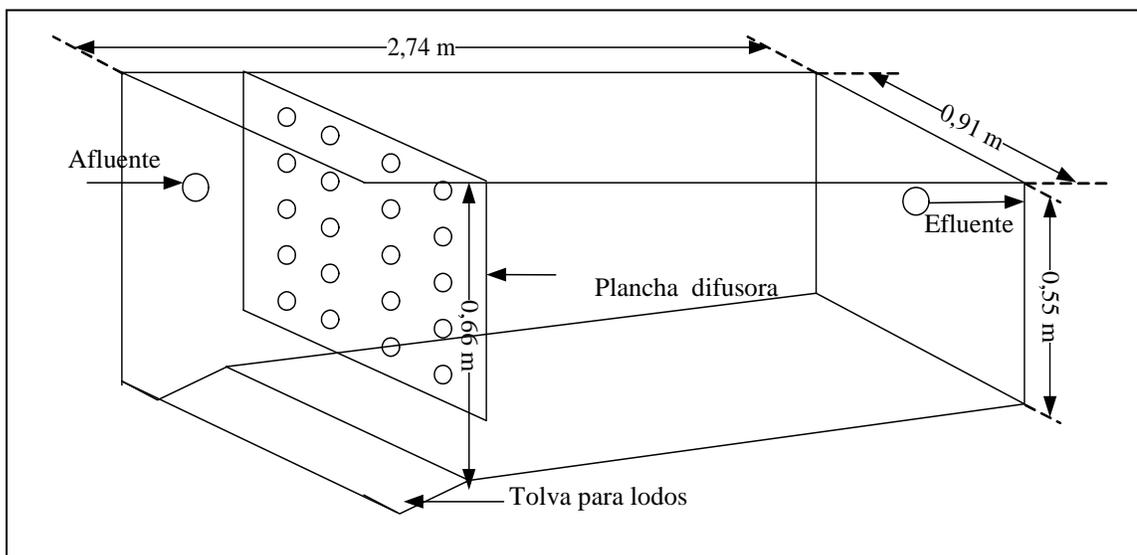
Fuente: Elaboración propia.

5.5.1.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR

La figura 5-6 muestra las dimensiones del la cámara de sedimentación

Figura 5-6

Dimensiones de la cámara de sedimentación primaria



Fuente: Elaboración propia.

5.5.2. DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR

La homogenización del caudal es habitual en las industrias que operan 5 a 6 días a la semana y donde el proceso no sea continuo, con este equipo se logrará que el caudal

se iguale o se reparte en un periodo de 7 días manteniendo constante para los días de la semana, además se logrará caudales con concentraciones de contaminantes homogéneas, también se utilizará para neutralizar el pH ya que es un parámetro muy importante para el tratamiento biológico al producirse algunos cambios indeseables. Para el diseño de esta unidad se establecerá las dimensiones de un tanque, de características sencillas, como por ejemplo de un tanque de almacenamiento de agua. Se adoptará un tanque de geometría cilíndrica porque presenta la ventaja de tener una mayor sección transversal.

5.5.2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR

Para determinar el diámetro del tanque:

$$d = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * H}}$$

Donde:

d = diámetro del tanque en (m)

H = altura adoptada del tanque en (m)

V= volumen del tanque en m³

Para determinar el diámetro del tanque de homogenización se asume una altura (H) de 2 m y se adimensionó un volumen (V) de 10 m³ para un caudal de entrada.

Q = 5,96 m³/día.

Por lo tanto:

d = 2,5 m

Para estimar el área del tanque:

$$A_{Total} = \text{área del cilindro} + \text{área del círculo}$$

$$A_{Total} = (2\pi * r * H) + (\pi * r^2)$$

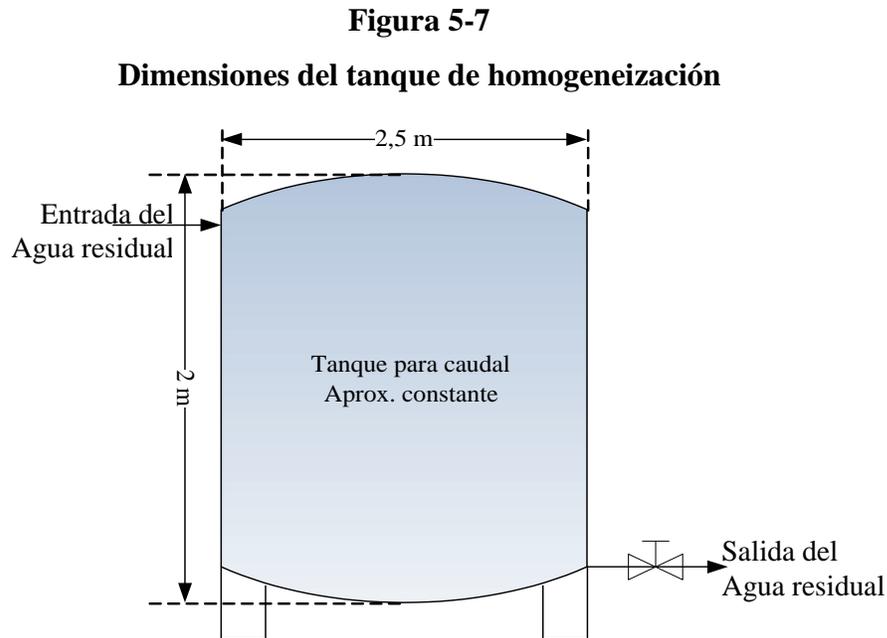
Donde:

A_{Total} = Área total del tanque en (m)

r = radio del tanque en (m)

El radio es de $r = 1,25$ m

$A_{Total} = 20,62$ m²



Fuente: Elaboración propia.

5.5.3. DISEÑO DEL FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE “FAFA”

Esta tecnología de digestión anaerobia comprende dos etapas fundamentales: el arranque y operación que se describieron en el anterior capítulo.

Una vez superadas la etapa de arranque que consiste en, la adaptación del sistema a la condiciones del afluente de la industria por medio de un lecho de inoculación, medio de soporte (trozos de goma) y crecimiento de microorganismos, alcanzar un pH óptimo para el sistema y garantizar un flujo de afluente aproximadamente constante y mantener una carga orgánica homogénea para el sistema. De esta manera se procederá a dimensionar el equipo que funcionará como un reactor anaerobio,

considerando los aspectos recomendados por la literatura, según (R. S. Ramalho, 1991), el diseño para estos filtros anaerobios se basa en condiciones empíricas.

5.5.3.1. DIMENSIONAMIENTO DE UN FAFA

De acuerdo a la literatura se tomo en cuenta algunas consideraciones que caracterizan a los filtros anaerobios de flujos ascendentes como ser: tiempo de retención hidráulica (TRH) de 0,5 a 2 días, carga orgánica volumétrica de 0,15 a 30 kg DQO/m³día, porcentaje de remoción de DQO y DBO₅ de 75-90 %. (Metcalf & Eddy, 1995).

5.5.3.2. PARÁMETRO DE DISEÑO DE UN FAFA

De acuerdo a la norma brasileña ABNT 1982 CNBR 7229/82

Tiempo de retención hidráulico; en general se diseñan en función del TRH, salvo que se trate de un liquido muy concentrado, en cuyo caso se diseñará en función de la carga orgánica.

Carga orgánica; se limita a una valor máximo de 16 kg DQO/m³día, pero en general se trabaja no superando los 12 kg DQO/m³día.

Tabla V-2

Parámetro de diseño de un FAFA

Q (l/día)	TRH (día)	
	15- 25°C	<15°C
< 1500	1	1,17
1501-3000	0,92	1,08
3001-4500	0,83	1
4501-6000	0,75	0,92
6001-7500	0,67	0,83
7501-9000	0,58	0,75
>9000	0,5	0,75

Fuente: Norma brasileña ABNT, 1982

Para el caso en estudio de acuerdo al caudal de diseño se encuentra en el rango de 4501 y 6000 l/día, por lo tanto tendrá un TRH de 0,75 días en función de la

temperatura. Para el diseño de este filtro anaerobio se considera una forma de geométrica cilíndrica.

Datos:

$$Q = 5,17 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{TRH} = 0,75 \text{ días}$$

$$V = 3,8 \text{ m}^3 \text{ pero para fines de diseño un } V = 4 \text{ m}^3$$

Los estudios han demostrado que el TRH es el parámetro de diseño más importante que afecta el desempeño del filtro. Un TRH de 0.5 a 1.5 días es típico y recomendado.

Se asume una altura de $H = 2 \text{ m}$, y se calcula el diámetro de con la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * H}}$$

$$d = 1,6 \text{ m}$$

$$r = 0,8 \text{ m}$$

Se procede al calcular el área del filtro anaerobio

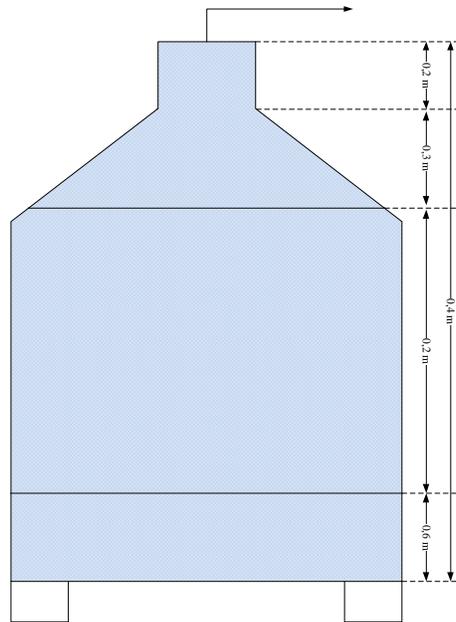
$$A_{\text{filtro}} = (2\pi * r * H) + 2(\pi * r^2)$$

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

El empaquetamiento de los filtros se realizará mediante el llenando al reactor a través de capas, esto quiere decir que se irá adicionado los filtros y posteriormente el lodo con el estiércol vacuno, se usará cal comercial espolvoreándole sobre el lecho en caso que sea necesario para controlar el pH, alcanzando una altura aproximadamente de 0,6 m lo que equivale a un 35% del volumen útil del filtro anaerobio.

En la siguiente figura 5-8 se muestra las dimensiones del filtro anaerobio de flujo ascendente.

Figura 5-8
Dimensiones de un FAFA



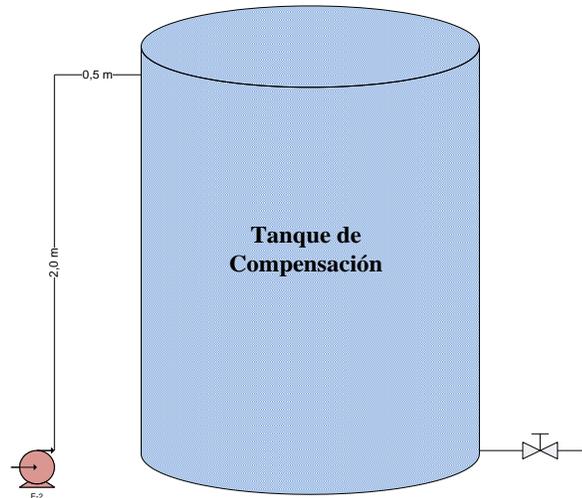
Fuente: Elaboración propia.

5.5.4. DISEÑO DE UNA BOMBA

El efluente que sale de la cámara de sedimentación, y de acuerdo a las dimensiones del tanque de homogeneización se requiere de un bombeo, por lo tanto el siguiente diagrama de flujo del sistema del homogeneizador que representa las dimensiones de la unidad y de las tuberías, que esto permite realizar el balance de energía mecánica por la ecuación de Bernoulli.

En la figura 5-9 se observa las dimensiones de un tanque homogeneizador o tanque pulmón para aguas residuales industrial.

Figura 5-9
Diagrama de flujo del tanque homogeneizador



Fuente: Elaboración propia.

5.5.4.1. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA BOMBA

5.5.4.1.1. TRABAJO DE LA BOMBA POR LA ECUACIÓN DE BERNOULLI

El balance de energía significa la energía de presión, la energía potencial, energía cinética, energía de bombeo, energía de fricción, las unidades están expresadas en Joules, mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{m}{\rho} P_1 + mgZ_1 + m \frac{(V_1)^2}{2} + mW_s = \frac{m}{\rho} P_2 + mgZ_2 + m \frac{(V_2)^2}{2} + mF$$

Dividiendo ambos términos por masa y gravedad (mg) resulta la siguiente expresión.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} + h_s = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + m \frac{(V_2)^2}{2g} + hf$$

Para realizar este balance se deben considerar los parámetros relacionados con las características de flujo, como ser:

5.5.4.1.2. NUMERO DE REYNOLDS (Re)

El número de Reynolds hace referencia a las características del flujo laminar, transición y turbulento, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho * V_0 * D}{\mu}$$

5.5.4.1.3. FACTOR DE ROZAMIENTO (f)

Para determinar este parámetro se debe considerar la rugosidad relativa (ϵ/D), y el valor de Reynolds, con estos parámetros se puede determinar el factor de rozamiento por medio del diagrama de de Moody. (Ocon Tojo,)

5.5.4.1.4. LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL

Esto se refiere a la pérdida por fricción para una tubería de su longitud, también a esto se suma las pérdidas por fricción de los accesorios que tiene la tubería. Para determinar las pérdidas por fricción se hace uso de la grafica del Ocon-Tojo.

$$L = L_{eq} + L_{e.a.}$$

5.5.4.1.5. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN (hf)

Estas pérdidas representa la energía convertida por efectos friccionantes de mecánica en térmica, la perdida de carga es independiente de la orientación de la tubería. Esto se calculan mediante la siguiente formula.

$$hf = f \frac{L * (V_0)^2}{2 * D * g}$$

5.5.4.2. CÁLCULO DE POTENCIA DE LA BOMBA

El objetivo de usar una bomba en un sistema de flujo consiste en aumentar la energía mecánica del fluido en movimiento. De tal manera se garantiza la dirección del fluido.

En la tabla V-3 se muestra todos los parámetros necesarios para determinar la potencia del equipo de la bomba.

Tabla V-3

Parámetros empleados para determinar la potencia de la bomba

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal (Q)	2,07E-4	m ³ /s
Diámetro, tubería (D)	0,0508	m
Longitud tubería (L)	2,3	m
μ	0,8 E-3	Kg/m-s
ρ	1000	Kg/m ³
g	9,81	m/s ²
V	0,1021	m/s
Re	6,49E+3	
ε/D	0,0009	
f	0,036	
h_f	0,0094	m
ΔZ	2	m
h_s	2,009	m

Fuente: Elaboración propia.

La potencia de la bomba se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{P_u}{\eta}$$

$$P_u = h_s * Q * \rho * g$$

Donde:

P_u = es la potencia útil en (Watts)

P_u = 6,80 Watts

De acuerdo a la anterior ecuación y suponiendo una eficiencia del 65 % de la bomba, la potencia de la misma es de: $P_b = 0,009$ C.V., por razones de potencia se usará una bomba de 0,25 HP.

5.6. INVERSIÓN NECESARIA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO

5.6.1. COSTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La selección de materiales para la construcción de la planta de tratamiento, fue adoptada de acuerdo a la bibliografía e información recomendada, para el costo de construcción de la cámara de sedimentación, tomó en cuenta el costo del material, mano de obra, los equipos y accesorios que componen esta cámara.

5.6.1.1. PRECIO DE LA OBRA CIVIL DE LA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

Para la construcción de la estructura física de la cámara de sedimentación se tomó en cuenta el volumen del hormigón armado (HoAo), se determinó el volumen de dicha cámara de $1,64 \text{ m}^3$, sabiendo que el metro cúbico de hormigón armado para tanque de agua cuesta 620 bs.; de esta manera se calcula el precio aproximado de la obra.

Tabla V-4

Costo de construcción de la cámara de sedimentación

CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN	TOTAL COMPRA	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO TOTAL (Bs.)
Hormigón armado HA	1,64	m^3	620			1016,8
Mano de Obra	2	Personas	120	7	Días	1680
Total						2696,8

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla V-5, se especifica el costo de los equipos auxiliares y accesorios precisos para la instalación de la cámara de sedimentación.

Tabla V-5
Costo de accesorios y equipos auxiliares de la cámara de sedimentación

Ítem	Equipos y Accesorios	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Bs.	Costo Total Bs.
1	Tubería PVC 3''	4,5	m	14,5	62,25
2	Codos de PVC 3''	2	pulg.	10	20
3	Tubo de acero inoxidable 2''	3	m	200,93	602,79
4	Válvula inoxidable 2''	2	pulg.	570,86	1141,72
Total					1829,76

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el costo de inversión de implementación de la cámara de sedimentación es de 4526,56 Bs.

5.6.1.2. TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN O TANQUE PULMÓN

De igual manera los costos de inversión del tanque de homogeneización o tanque pulmón para aguas residuales, se toma en cuenta el tipo de material, la mano de obra, la adquisición de equipos auxiliares y los accesorios necesarios para la construcción e instalación del tanque, el material será acero inoxidable por tratarse de aguas con elevadas cargas orgánicas y solución de sosa caustica.

En la tabla V-6 se muestran los costos de los materiales de construcción del tanque de homogeneización o tanque pulmón para aguas residuales.

Tabla V-6
Costo de construcción, accesorios y equipos auxiliares del tanque de
homogeneización

Ítem	Equipos y Accesorios	Total compra	Unidad	cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs.)	Costo Total (Bs.)
1	Plancha inoxi. 1,5 mm.	20,62	m ²			619,25	12768,94
2	Mano de obra	2	Personas	6	Días	120	1440
3	Bomba de agua residual	1				650	650
4	Tubo Acero inox. 2''	3,5	m			200,93	703,25
5	Válvula inox. 2''	1	pulg.			570,86	570,86
6	Codo inox. 2''	2	pulg.			82,66	165,32
Total							16298,37

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los cálculos mostrados en la tabla el costo de inversión de implementación del tanque de homogeneización o tanque pulmón para aguas residuales es de 16298,37 Bs.

5.6.1.3. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE “FAFA”

Para la construcción de este reactor anaerobio se considera el material de construcción, los accesorios y equipos auxiliares con estas características se estima el costo de inversión para la instalación de estos filtros anaerobios de flujos ascendentes, de igual manera el material será de acero inoxidable.

La tabla V-7 indica los costos de construcción, de los accesorios y equipos auxiliares de los filtros anaerobios de flujos ascendentes.

En la tabla V-7
Costo de construcción, accesorios y equipos auxiliares de los FAFAs

Ítem	Equipos y Accesorios	Total compra	Unidad	cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs.)	Costo Total (Bs.)
01	Plancha inox. 1,5 mm.	28,2	m ²			619,25	12768,94
02	Mano de obra	3	personas	12	Días	120	4320
03	Tubo de acero inox. 2''	10	m			200,93	2009,3
04	Codo inox. 2''	4	pulg.			82,66	330,64
05	Válvula inox. 2''	2	pulg.			570,86	1141,72
06	Manguera de plástico 1,5''	480	m			15	7200
07	Hierro galvanizado 2''	10	m			82,5	825
Total							34153,45

Fuente: Elaboración propia.

La inversión total para la implantación del sistema de tratamiento de las aguas residuales por cada unidad de proceso como ser: una cámara de sedimentación, un tanque de homogeneización y los filtros anaerobios de flujos ascendentes se muestra en la siguiente tabla V-8.

Tabla V-8
Costo de inversión total de implementación

Costo	Valor Bs.
Cámara de sedimentación	2696,8
Accesorios y equipos de la cámara de sedimentación	1829,76
Tanque de homogeneización	16298,37
Filtro anaerobio	34153,45
Total	54978,38

Fuente: Elaboración propia.

5.6.1.4. COSTO REAL DE INVERSIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para estimar el costo real de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la industria de lácteos El Rancho, según el método de Lang y Chilton para determinar los costos de inversión adecuadamente se deben incluir diferentes factores que encarecen su implementación, que deben considerarse para estimar adecuadamente la inversión real de la implementación de la planta de tratamiento de las aguas residuales. (UBA, 1997).

Estos costos se muestran en la tabla V-9 que indican otros costos incorporados a cada proceso, cámara de sedimentación, tanque de homogeneización y filtros anaerobios de flujos ascendentes.

Tabla V-9
Costo de inversión en cada etapa

Costos	Factor	Importe (Bs.)
Ingeniería	0,3	16493,51
Contingencias e imprevistos	0,05	2748,92
Capital de trabajo y puesta en marcha	0,012	659,74
Total		19902,17

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizados todos los costos más los costos reales para la implementación de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la industria de lácteos del Rancho, como ser: una cámara de sedimentación, un tanque de homogeneización y los filtros anaerobios de flujos ascendentes suman un valor que corresponde a 74800,55 bs que debe ser financiada por la misma empresa.

En el cuadro V-1 se muestra las características y dimensiones de los equipos propuestos

Cuadro V-1

Resumen de Resumen de las características y dimensiones de equipos propuestos

Características de construcción de los equipos propuestos	Dimensión	Caudal (m ³ /día)	Remoción de la materia orgánica (%)	Costo de implementación (Bs.)	Costo de inversión real (Bs.)
Cámara de sedimentación					19902,17
Material de Hormigón Armado HoAo Accesorios y equipos auxiliares de PVC y material inoxidables.	L = 2,74 m B = 0,91m H = 0,66m V = 1,64m ³	Qe = 6 Qs=5,96	S.Dis. = 5 S.S. = 70 S. Sed= 99 DQO = 35 DBO ₅ = 35 Grasas y aceites= 97	4526,56	
Tanque Homogeneización de caudal					
Plancha inoxidable de 1,5 mm. Accesorios y equipos auxiliares inoxidables.	H = 2m d = 2,5m A _{Total} =20,62m ² r = 1,25m V = 10 m ³	Qe=5,96 Qs=5,17 Ac=0,79		1629 8,37	
Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA					
Plancha inoxidable de 1,5 mm. THR = 0,75 días. Accesorios y equipos auxiliares inoxidables	H = 2m d = 1,6m r = 0,8m A _{filtración} = 28,2m ² V = 4m ³	Qe=5,17 Qs=4,39 Ac=0,78	DQO = 91 DBO ₅ = 91 S.S. = 95 S.Sed.= 99	3415,45	
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN					74800,55

Fuente: Elaboración propia.

6.1. CONCLUSIONES

- El agua residual de la industria láctea El Rancho presenta una característica de los parámetros fisicoquímicos que exceden el límite de las cuantificaciones de los parámetros de descarga al alcantarillado sanitario establecido por el convenio de COSAALT Ltda. tal como se muestra en la tabla III-7.
- De acuerdo a las características que presenta las aguas residuales la industria láctea (índice de biodegradabilidad DBO_5/DQO) tiene un valor $>0,44$ que la determina como muy biodegradable y apta para el tratamiento biológico.
- El avance tecnológico en el tratamiento de aguas residuales industriales, establece al proceso biológico anaerobio como el más utilizado, por ello el sistema de filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA seleccionado que utiliza como relleno material sintético, presenta mayor ventajas en cuanto a su nivel de eficiencia técnica y económica frente a otras tecnologías vigentes.
- En vistas a las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales sin tratamiento de la industria de lácteos El Rancho, se diseñó un sistema de tratamiento que comprende de las siguientes etapas:
 - Tratamiento Primario: mediante una cámara de sedimentación.
 - Homogenizador: para mantener un caudal constante.
 - Tratamiento Secundario: dos unidades de filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA, con material de relleno sintético.
- En base a la tecnología propuesta por el sistema de tratamiento de las aguas residuales para un caudal con proyección de $6 \text{ m}^3/\text{día}$, se alcanza reducir la carga contaminante en porcentaje de una remoción de DBO_5 y DQO alrededor de 95 %, sólidos suspendidos 97%, sólidos sedimentables 100%. De acuerdo a estos a estos porcentajes de reducción podemos afirmar que los parámetros

mencionados se encuentran dentro los límites admisibles por COSAALT Ltda.

- Realizado un análisis económico para la implementación de la tecnología propuesta para el tratamiento de las aguas residuales de la industria de lácteos El Rancho, tendrá un costo de inversión total alrededor de 74800,55 bs.

6.2. RECOMENDACIONES

- Como parte inicial del diseño del sistema de tratamiento es necesario evaluar las diferentes opciones de mejora y reducción de residuos, a través de un manejo eficiente de todo el sistema de producción, de tal forma que aporte a la disminución de los agentes contaminantes de sus aguas residuales.
- Para lograr un buen rendimiento en eficiencia de remoción de la carga contaminante en el efluente del sistema de tratamiento propuesto, es necesario llevar a cabo un plan de muestro mensual en los puntos indicados del proceso de tratamiento para garantizar la calidad de efluente vertido a las condiciones establecidas por COSAALT Ltda.
- Existe la posibilidad de incumplir en algún momento la reglamentación de vertidos de aguas residual industrial de COSAALT Ltda, para lo cual se deberá tener establecida medidas de acción evaluando en cada etapa de tratamiento del sistema, para detectar el origen de la causa de este incumplimiento ya así garantizar una buena calidad del efluente