

Antecedentes

El tratamiento sistemático de las aguas residuales data de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. El desarrollo de la teoría del germen a cargo de Koch y Pasteur en la segunda mitad del Siglo XIX marco el inicio de una nueva era en el campo del saneamiento. Hasta ese momento se había profundizado poco en la relación entre contaminación y enfermedades, y no se había aplicado al tratamiento de aguas residuales la bacteriología, disciplina entonces en sus inicios. (Metcalf y Eddy, 1995).

Snow en 1849 demostró la transmisión del cólera a través de aguas contaminadas por aguas residuales; a partir de este momento se tomó conciencia de que las aguas residuales eran transmisoras de enfermedades y por lo tanto un problema que resolver (Gómez y Hontoria, 2003).

En Estados Unidos, el tratamiento y eliminación de las aguas residuales no recibió demasiada atención a finales del siglo XIX , porque los daños causados por el vertido de 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. (Metcalf y Eddy, 1995).

En el caso específico de la ciudad de Tarija, existen varias industrias que vierten sus aguas residuales sin ningún tratamiento a quebradas, canales y ríos. Estas industrias

causan el deterioro de la estética, calidad de aguas, entorno ambiental causando malos olores y propagación de condiciones adversas. En muchos de esos casos, las aguas residuales no pueden conectarse directamente a las alcantarillas por problemas técnicos y legales (6).

Las aguas residuales industriales que poseen alta carga orgánica plantean por lo general problemas para su disposición y tratamiento, y en muchos casos son lanzadas sin ningún tipo de tratamiento (6).

La Cervecería ASTRA S.A. cuenta con una pequeña planta de tratamiento básico tipo anaeróbico que fue construida y puesta en funcionamiento el año 2002. Esta planta fue diseñada para tratar 160 m³/día de aguas residuales, con un tiempo de residencia de 22,14 h, alcanzando un rendimiento teórico del 90% de acuerdo a APROTEC, la misma se detalla en la hoja de cálculo de diseño del BIORAB-100 en el anexo 1.

A finales del año 2009 se inicio la construcción de dos cámaras de sedimentación y la instalación de dos tanques cilíndricos inoxidable, la que se puso en funcionamiento en abril del 2010, esto para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Definición del Problema

En los últimos años la elaboración de cerveza ha superado la expectativa de producción se han aumentado los volúmenes de cerveza por lo tanto el consumo de agua, y la generación aguas residuales ha ido en ascenso dejando a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) insuficiente, lo cual provoca el mal funcionamiento, debido al

aumento en los volúmenes de aguas residuales a tratar ha disminuido su eficiencia. Por lo que la Cervecería Boliviana Nacional S.A. propietaria de la Cervecería ASTRA, preocupada por el entorno ambiental y consciente por el daño que causan las aguas residuales que no están dentro de la ley ambiental pretende ampliar el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, para mejorar la eficiencia y cumplir los parámetros permisibles por la ley del medio ambiente 1333, este tipo de aguas residuales deben pasar por varios procesos para su correcto tratamiento.

Actualmente la cervecería ASTRA cuenta con una planta de tratamiento de aguas que se resume en dos sedimentadores, un tanque homogeneizador, un tanque fermentador y un reactor anaerobio (BIORAB-100), que no está funcionando eficientemente para tratar este tipo de aguas residuales.

Justificación

Los problemas de contaminación hídrica que causan las aguas residuales de origen industrial afecta al entorno ambiental. En el caso específico de la industria cervecera se genera un efluente con elevada carga de materia orgánica, sólidos y otras sustancias que causan el deterioro del entorno ambiental si no son tratados correctamente en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

El aumento del volumen de agua residual a tratar y las condiciones de operación inadecuadas están provocando la ineficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), por esta razón el compromiso de la Cervecería ASTRA con el medio ambiente, desea realizar un estudio de ampliación del sistema de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de disminuir el impacto ambiental negativo.

Objetivos del Trabajo

Para responder a la problemática actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA se plantean los siguientes objetivos.

Objetivo General

Diseñar la ampliación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA considerando eficiencia y bajo costo.

Objetivos Específicos

- ❖ Determinar el caudal de afluente/efluente existente en la planta de producción.

- ❖ Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

- ❖ Evaluar el proceso de tratamiento de aguas existente, para proponer las alternativas de ampliación para cumplir con la normativa nacional de vertido de aguas residuales.

- ❖ Estimar el costo de ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

Fundamentación

Un estudio de ampliación del Sistema de Tratamientos de Aguas Residuales Industriales, nos permite obtener las características fisicoquímicas de las aguas residuales de la Cervecería, nos ayuda establecer las fallas del sistema de tratamiento de aguas residuales.

La ampliación del sistema de tratamiento de aguas residuales ayudara a la Cervecería ASTRA a disminuir los altos niveles de carga contaminante de las aguas residuales de salida del actual sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.1. Concepto de Aguas Residuales

Según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la ley de Medio Ambiente 1333, se definen las Aguas Residuales como aquellas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.

1.1.1. Aguas Residuales Domésticas

Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como del lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera (15).

1.1.2. Aguas Residuales Industriales

Son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes (15).

1.1.3. Aguas Residuales Agrícolas

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. Las descargas de estas aguas son recibidas directamente por los ríos o por los alcantarillados (15).

1.2. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

Las aguas residuales industriales de acuerdo a la actividad productiva que desarrollan pueden ser de carácter orgánico en composición, tal como el caso de las aguas residuales de una industria cervecera que posee una alta carga de materia orgánica, esto significa que los principales procesos de tratamiento están dirigidos a la eliminación de la composición orgánica.

Las plantas de tratamientos de este tipo de aguas poseen una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, como los siguientes:

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

Con estos tratamientos se pretende eliminar el residuo sólido, la materia orgánica, los microorganismos patógenos.

Para el tratamiento de aguas residuales existen muchos métodos los cuales cumplen con la función de remover los contaminantes del agua residual, para su vertido posterior. Para una mejor comprensión de lo que son las plantas de tratamiento de aguas residuales se explica cada paso en general.

Cuadro I-1
Operaciones o Procesos Unitarios Según el Nivel de Tratamiento de Aguas

Tipo de Tratamiento	Operaciones o Procesos Unitarios
Pretratamiento	Dilaceración, Desbaste, Filtración, Flotación, Remoción por Gravedad, Tanque Imhoff, Filtración de Membrana, Tamizado Grueso y Fino, y Microtamizado.
Primarios	Tamizado, Sedimentación Primaria.
Secundarios	Lodos Activados, Reactores de Lecho Fijo, Sistemas de Lagunaje, Sedimentación Secundaria, Desinfección.
Terciarios	Coagulación Química, Floculación, Sedimentación seguida de Filtración y Carbón Activado. Intercambio Iónico, Osmosis Inversa, Electrocoagulación.

Fuente: A. Aristizábal, M. C Bermúdez, Estudio de la Factibilidad de un Sistema de Electrocoagulación para Tratamiento de Aguas Procedentes de Lavanderías Industriales con Fines de Reuso, 2007.(15)

1.2.1. Tratamiento preliminar o Pretratamiento

Es la primera operación a la que se someten las aguas residuales. Consiste en retener los sólidos y las grasas el agua residual, limpiándola de todas aquellas partículas que por su tamaño y sus características, pueden entorpecer el normal funcionamiento de los consecuentes de la planta de tratamiento de aguas residuales. Este tratamiento se realiza a través de rejillas y tamizado.

1.2.1.1. Rejas

El objetivo de las rejillas consiste en la separación de los sólidos gruesos que traen consigo el agua residual, ya que no se eliminan pueden causar daños a los

mecanismos o bloquear las tuberías dentro de la planta de tratamiento de aguas. Las rejas suelen tener aberturas de 6 a 40 mm (16). Las rejas deben ser diseñadas en material anticorrosivo para evitar el desgaste con la fricción del paso del agua, la limpieza de la reja puede ser de manera manual o mecánica.

1.2.1.2. Tamizado

Permite la separación de partículas de menor tamaño que atraviesan los sistemas de rejas. El tamiz puede tener apertura de 0.2 a 6 mm logrando retener sólidos suspendidos de menor tamaño, incluso un tamiz fino con apertura de 0,01 a 0,2 mm puede ser utilizado para reemplazar unidades de sedimentación primaria (16).

1.2.2. Tratamiento Primario

Comprende de procesos de sedimentación, que consiste de la remoción de una cantidad importante de los sólidos suspendidos, contenidos en las aguas residuales.

1.2.2.1. Sedimentación

El objetivo del tratamiento por sedimentación es el de remover rápidamente los residuos sólidos sedimentables y material flotante para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos (16). Su funcionamiento se basa en la física, ya que un líquido que corre por un canal a cierta velocidad y es retenido en un espacio mayor, la velocidad del líquido disminuye, lo que produce que los sólidos suspendidos según su peso específico en relación al agua se acumulen en el fondo formando barros o subirán a la superficie en forma de película grasa. En ambos casos los sólidos deben

ser retirados para evitar el mal funcionamiento del sistema. Es importante tener en cuenta el tiempo de retención del líquido residual por lo que el dimensionamiento tendrá relación con el volumen del líquido a tratar.

1.2.2.2. Filtración

La filtración es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros (17).

1.2.3. Tratamiento Secundario

Los tratamientos secundarios son procesos biológicos, en los que la depuración de la materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa por la actuación de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que se mantienen en suspensión en el agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.

Los efluentes industriales con carga orgánica depurable 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).

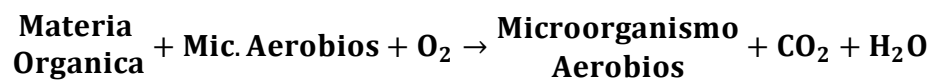
Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios (en ausencia de aire); en general para aguas con alta carga orgánica (industrias

agroalimentarias, residuos ganaderos, etc.) se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria.

1.2.3.1. Tratamiento Aerobio

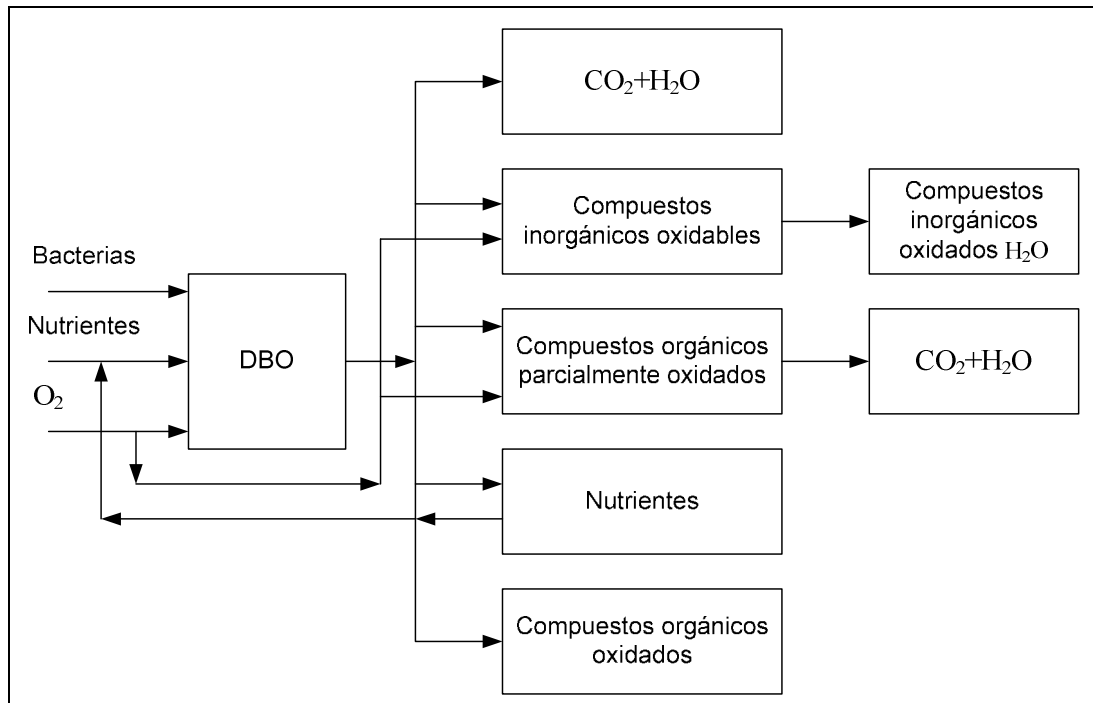
El tratamiento Aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. Los más empleados son el de lodos activados y tratamientos de bajo coste: filtros percoladores, biodiscos, biocilindros, lechos de turba, filtros verdes y lagunaje (este sistema se puede considerar como “mixto”, ya que se dan tanto en procesos aerobios como anaerobios, dependiendo de la profundidad). En todos estos procesos, la materia orgánica se descompone convirtiéndose en dióxido de carbono, y en especies minerales oxidadas,

La estequiometría de la digestión aerobia se expresa de la siguiente manera, (9):



En la figura 1-1 se muestra el esquema general de la oxidación biológica.

Figura 1-1
Esquema General de la Oxidación Biológica Aerobia



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

1.2.3.2. Tratamiento Anaerobio

El tratamiento 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 “biogas”, 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. 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, (18).

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, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias.

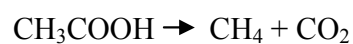
Etapa I. Hidrólisis: La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente (18).

Etapa II. 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.

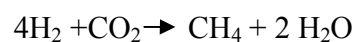
Una gran porción de la misma cerca del 80% es excretada fuera de la célula en forma de alcoholes, ácidos grasos volátiles y gas hidrógeno. En el caso de las lagunas de oxidación de las aguas residuales agroindustriales, los productos principales de la fermentación son los ácidos grasos (ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico). El resultado total de la fermentación es la conversión de sustratos neutros, tales como azúcares y aminoácidos en ácidos orgánicos relativamente fuertes (18).

Etapa III. 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 (18).

Etapa IV. 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 denominan bacterias acetoclastas. La reacción, planteada de forma general, es la siguiente:



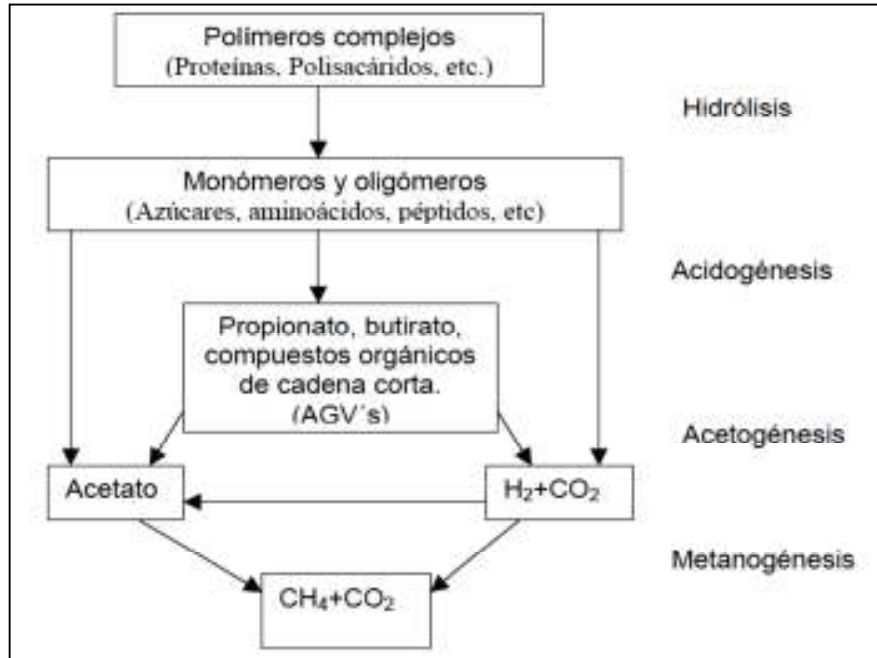
Algunas bacterias metanogénicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metanogénicas hidrogenoclastas) según la reacción:



La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la 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.
(18)

En la figura 1-2 muestra el esquema del proceso de digestión Anaerobia

Figura 1-2
Proceso de Digestión Anaerobia



Fuente: K.Valerín, *Evaluación Físico-Química y Microbiológica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Planta Santa María del Beneficio F.J. Orlich Ubicado en Orosi.*

1.2.4. Tratamiento avanzado

Se utiliza cuando se quiere 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 materia disuelta. 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 (15).

1.2.5. Desinfección

Consiste normalmente en la inyección de una disolución de cloro al inicio del canal de cloración. La dosis de cloro depende entre otros factores del contenido microbiano y suele oscilar entre 5-10 mg/ L. También puede utilizarse como desinfectante el ozono o la luz ultravioleta (15).

Aunque la cloración de las aguas residuales es un tratamiento recomendado para su desinfección, en los últimos años se están estudiando otras alternativas debido a que en la cloración se forman algunos productos como los trihalometanos que se supone son cancerígenos, así como otros compuestos organoclorados tóxicos. Entre estas alternativas se encuentran la desinfección por rayos ultravioleta, el tratamiento con ozono, el dióxido de cloro y la solarización desinfección por la luz solar. (15).

Cuadro I-2

Operaciones y Procesos Unitarios y Sistemas de Tratamiento Utilizados para Eliminar la Mayoría de los Contaminantes Presentes en las Aguas Residuales

Contaminante	Sistema de tratamiento, Operación o Proceso Unitario
Sólidos en Suspensión	Debaste y Dilaceración, Desarenado, Sedimentación, Filtración, Flotación, Adición de Polímeros, Sistemas Naturales (tratamiento de evacuación al terreno), Coagulación/Sedimentación.
Materia Orgánica Biodegradable	Variantes de Fangos Activados, Película Fija: Filtros Percoladores y Biodiscos, variantes de Lagunaje, Filtración Intermitente en Arena, Sistemas Físicoquímicos, Sistemas Naturales.
Compuestos Orgánicos Volátiles	Arrastre por Aire, Tratamiento de Gases, Absorción en Carbón.
Patógenos	Cloración, Hipocloración, Cloruro de Bromo, Ozonación, Radiación UV, Sistemas Naturales.
Nutrientes:	
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.
Nitrógeno y Fósforo	Eliminación Biológica de Nutrientes.
Materia orgánica refractaria	Adsorción de carbón, Ozonación 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: TCHOBANOGLIOUS, George et al. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. 3 ed. México: Mc Graw Hill, 1996. v.1. (15).

1.3. Parámetros que Rigen el Proceso Anaerobio.

1.3.1. 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 (Wasser, 1995) (14).

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 ambiental) durante la mayor parte del año y solo son más bajas durante los meses más cálidos del verano. (Deloya, 1989) (14).

Este es un parámetro importante de considerar ya que afecta directamente la eficiencia con la 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 (14).

1.3.2. Potencial de Hidrógeno 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 produzcan 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 (14).

Por otra parte las bacterias fermentativas son aún activas hasta un 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) (14).

Tabla I-1
pH Óptimo en la Producción de Biogás

Valor de pH	Etapa Hidrolítica	Etapa Metanogénica
Valor típico	5,0-6,0	6,5-7,5
Valor optimo	5,5-5,7	6,8-7,2

Fuente: Elaboración propia, 2010

1.3.3. Alcalinidad

La alcalinidad es una medida del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio fundamentalmente; se expresa en mg CaCO₃/l, y representa la capacidad tampón del contenido del digestor (9).

Un digestor con una alcalinidad superior a 1000 mg/l (a pH 6), presenta una buena capacidad de repuesta 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 CaCO₃/l se obtiene un margen de operación seguro en el tratamiento anaerobio de residuos (9).

1.3.4. 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 del 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 (9).

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) (9).

1.3.5. 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 (14).

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) (14).

1.3.6. Compuestos Tóxicos.

Estos actúan como inhibidores del proceso anaerobio. Los iones metálicos y los compuestos organoclorados son tóxicos en pequeñas concentraciones. (Ulloa, 1993)

(14).

Los compuestos clorados son muy tóxicos para las bacterias metanogénicas. Los más tóxicos, aún a muy bajas concentraciones (menores que 1 mg/L) son aquellos que tienen una estructura similar a la del CH_4 , como el CCl_4 , el CH_2Cl_2 y el CH_3Cl (Wasser, 1995) (14).

El cianuro es menos tóxico para el resto de los microorganismos anaerobios, no así para las bacterias metanogénicas. Si la concentración es muy alta puede ocurrir adaptación del lodo, pero esta se pierde si se suspende el contacto del cianuro con el lodo (14).

El formaldehído puede desnaturalizar proteínas y en altas concentraciones puede hacer fallar un reactor anaerobio, este se puede remover mediante un sistema aerobio, o aplicar altas temperaturas y subir el pH para transformarlo en azúcar y/o una mezcla de formiatos y metanos (Wasser, 1995). El sulfito no puede exceder los 100 mg/L, pero puede ser transformado por bacterias sulfato-reductoras a H_2S , que es menos tóxico (14).

El oxígeno se considera muy tóxico para las bacterias productoras del metano, que son anaerobios obligados, su presencia puede ocasionar disminución de la actividad metanogénica del lodo y poco crecimiento de la biomasa (Wasser, 1995) (14).

Los ácidos grasos volátiles (AGVs) son tóxicos solo en su forma no ionizada. A un pH entre 7 y 8 se encuentran mayoritariamente en su forma ionizada, si el pH disminuye estos no se disocian y provocan la inhibición de la metanogénesis (14).

1.3.7. 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).

1.3.8. Inhibición del Proceso Anaerobio

El proceso de la digestión anaerobia no es ajeno al ataque de numerosos compuestos que de una forma u otra, inciden de manera negativa en el proceso.

Es por consiguiente un requisito, al trabajar con un proceso anaerobio, poder identificar la inhibición de la metanogénesis en una fase temprana para poder prevenir el fracaso del sistema. Los parámetros comúnmente usados para determinar los indicadores de inhibición son:

- Reducción en la producción de Metano.
- Incremento en la concentración de AGVs.
- Fallas en la remoción de DQO.
- Problemas con el pH.
- Pobre estabilidad del proceso anaerobio al someterlo a sobrecargas.
- Respuesta lenta a condiciones de parada y arranque del sistema.

1.4. Fuente y Caracterización de Residuos Líquidos de la Cervecería ASTRA

Las aguas residuales que se generan, se concentran en todas las operaciones y procedimientos para la elaboración del producto final. Las aguas residuales presentan carga orgánica elevada y materia orgánica fácilmente biodegradable, sólidos en suspensión, vertidos puntuales de limpieza y vaciado de los baños de la lavadora de botellas con pH fuertemente alcalinos.

1.4.1. Componentes de las Aguas Residuales

En todas las industrias cerveceras los componentes de las aguas residuales provienen principalmente de las operaciones de limpieza y envasado.

El cuadro I-3 muestra los componentes que están presentes en las aguas residuales de los distintos procesos de producción de cerveza.

Cuadro I-3
Etapas, Componentes, Parámetros de control de las Aguas Residuales

Etapas	Componentes	Parámetros
Cocimiento	Bagazo de Cebada, Residuo de Mosto, Turbio.	Ss, DBO, pH.
Fermentación y Maduración	Levadura, Residuo de Cerveza.	DBO, DQO, Ss, pH.
Filtración	Levadura, Tierra diatomeas, Cerveza residual.	DBO, DQO, Ss, pH.
Envasado	Soda cáustica, Sólidos del lavado de botellas y Cajas, Cerveza residual.	pH, Conductividad, DQO, DBO, Ss.

Fuente: Elaboración propia, 2010

1.4.2. Características de las Aguas Residuales en las Cervecerías

El conocimiento de la naturaleza del agua residual de la Cervecería es fundamental de cara al proyecto. Las aguas residuales se caracterizan por su composición fisicoquímica y biológica.

Las aguas vertidas por los distintos procesos en la elaboración de cerveza tienen distintas características que están en función del proceso industrial, la siguiente tabla muestra las características de las aguas residuales cerveceras sin tratar.

En la tabla I-2 se indica las características fisicoquímicas del agua residual de las cervecerías sin tratar.

Tabla I-2
Caracterización del Agua Residual sin Tratar

Parámetros	Unidad	Rango
pH		3-13
DBO₅	mg/l	1000-1500
DQO	mg/l	1800-3000
Sólidos suspendidos	mg/l	10-60
Nitrógeno total	mg/l	30-100
Fosforo total	mg/l	30-100

Fuente: CBMC – The Brewers of Europe, 2002

La tabla I-3 muestra los valores de referencia para algunos parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales en las cervecerías (8).

Tabla I-3
Valores Aproximados de Referencia para Algunos Parámetros de las Aguas Residuales en las Cervecerías

Parámetros	Valores aproximados
Volumen de agua residual (HI/HI cerveza)	3,5-8
DBO(KgDBO/HI de cerveza)	0,6-1,8
Sólidos en suspensión (Kg DBO/HI de cerveza)	0,2-0,4
DBO ₅ /DQO	0,58-0,66
Nitrógeno (mg/l)	30-100
Fosforo (mg/l)	30-100

Fuente: Environmental Management in the Brewing Industry, 1996

1.5. Parámetros Físicoquímicos Considerados para Evaluar la PTAR

Los parámetros determinados para evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería ASTRA son los siguientes:

1.5.1. Temperatura

La temperatura máxima aceptada es de 45°C ya que por encima de dicho valor se produce el aumento de la sedimentación de sólidos en suspensión en lugares no deseados, las grasas se funden pasando los filtros destinados para retenerlas y por último la concentración gaseosa en el líquido es menor en general y en particular menor la cantidad de oxígeno disuelto.

1.5.2. pH

Este parámetro nos indica la acidez del medio y debe ser cercano a 7 (no menos de 5,5 ni mayor de 10) para evitar las alteraciones químicas con formación de sustancias tóxicas o corrosivas y crecimiento inadecuado de la flora microbiana.

1.5.3. Sólidos Sedimentables

Esta pequeña proporción de los sólidos totales, tanto orgánicos como inorgánicos, es de fácil medición y su estimación nos permite hacer una proyección de la concentración total de sólidos del efluente. La medición se realiza con conos de vidrio llamados Imhoff aceptándose un valor de 1 ml/l.

1.5.4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Es la medición que permite estimar el consumo de oxígeno que utilizan las bacterias para degradar la materia orgánica del líquido residual disponible en los sistemas líquidos en 5 días a 20°C. Si este consumo es superior a la cantidad de oxígeno disuelto presente en el lecho, el mismo entrará en proceso de putrefacción.

1.5.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente la materia orgánica utilizando oxidantes químicos como el dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) con ácido sulfúrico. Los valores de la DQO han de estar en relación con los de la DBO; si la DQO es mucho mayor que la DBO una parte importante de la materia orgánica no

será fácilmente biodegradable.

1.5.6. Sólidos Suspendidos (Ss)

Es una medida de los residuos totales no filtrables que son retenidos en un filtro normalizado. Pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual al entorno acuático.

2.1. Ubicación Geográfica de la Cervecería ASTRA

La Cervecería ASTRA, se encuentra ubicada en la zona Morros Blancos sobre la avenida Héroes del Chaco. Es una empresa que elabora Cerveza. La Cervecería cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, la cual cuenta con un reactor biológico anaerobio BIORAB-100 diseñada por la empresa APROTEC, para tratar este tipo de aguas.

Figura 2-1
Fábrica Cervecería ASTRA



Fuente: Google Earth, 2009.

Geográficamente la Planta de Elaboración de Cerveza esta dentro de las coordenadas de latitud de 21°32'34.00``Sud, longitud 64°42'25.18``Oeste y una altitud de 1875 m. s.n.m.

2.2. Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Cervecería ASTRA, se encuentra localizada dentro de la fábrica en la parte de atrás, y está ubicada dentro de las coordenadas de latitud 21°32'31.19" Sud, longitud 64°42'25.61" Oeste y con una altitud de 1872m. s.n.m.

2.3. Origen de las Aguas Residuales en la Cervecería ASTRA

La Etapa de Producción de la Cervecería ASTRA es variable por lo tanto la generación de aguas residuales varia.

La producción de cerveza se realiza en dos turnos:

- El primer turno de 6 am. a 6 pm. Trabajan todas las áreas de producción, por lo que es en este turno donde se genera la mayor cantidad de aguas residuales.
- El segundo turno de 6 pm. a 6 am. Solo trabaja el área de cocimiento, que no genera grandes volúmenes de aguas residuales.

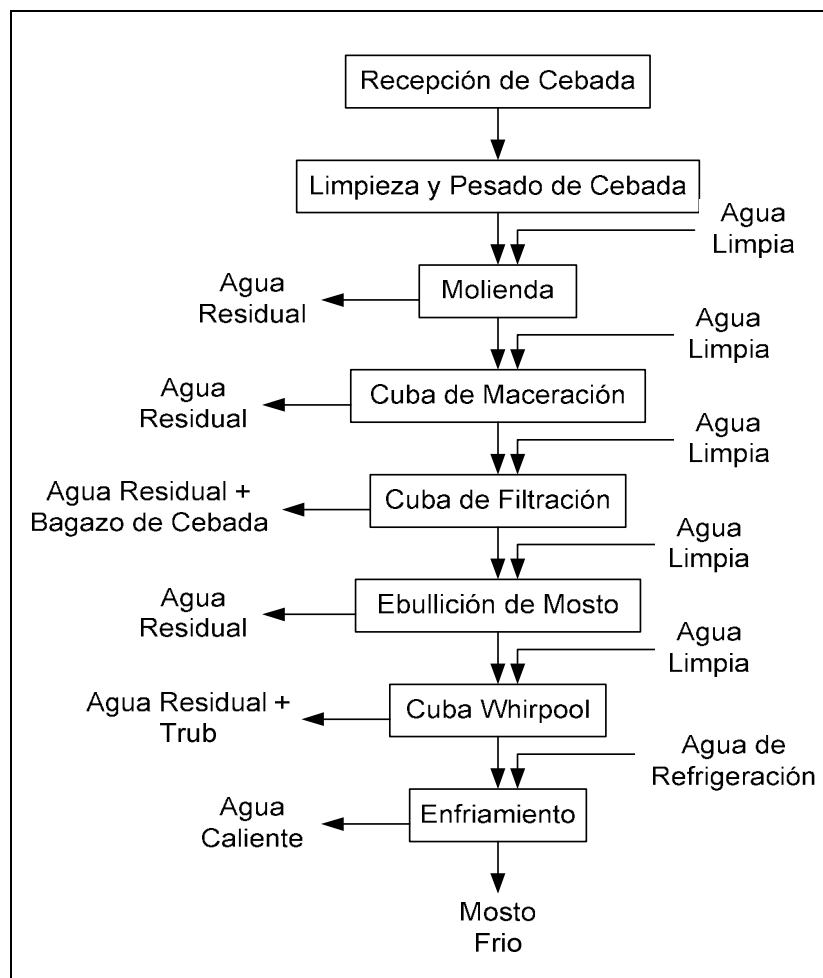
Las aguas residuales que se generan en el proceso productivo de la cervecería, provienen de las distintas áreas de producción como ser:

2.3.1. Área de Cocimiento

En el área de cocimiento se lleva a cabo la elaboración del mosto de cebada para ello comprende de las siguientes etapas:

La figura 2-2 muestra el diagrama del proceso de elaboración de mosto donde se observa los flujos de los componentes.

Figura 2-2
Diagrama del Proceso de Elaboración de Mosto



Fuente: Elaboración propia, 2011.

Molienda: La molienda tiene por objeto triturar la malta para lograr un tamaño de partícula que permita una maceración adecuada (8).

Maceración: La harina de malta se mezcla con agua y se vierte en cubas de maceración donde se transforma el almidón en azúcares fermentables y las proteínas en péptidos por acción de las enzimas alfa amilasas y beta glucanasas (8).

Filtración: La filtración se realiza en una cuba filtro que tiene por objeto separar el mosto del bagazo que son restos de sólidos de la maceración (8).

Cocción: El jugo obtenido por la filtración del macerado se introduce en una caldera donde se agrega lúpulo colorante, azúcar, cloruro de calcio y el ácido fosfórico donde se lleva a ebullición, durante un tiempo comprendido entre 1 a 2 horas (8).

Clarificación del Mosto: Durante la cocción, las proteínas sensibles al calor precipitan, formándose el turbio caliente o trub, que es necesario eliminar de la cerveza. Esta separación se hace en un recipiente conocido como Whirpool. El mosto entra en el depósito de forma tangencial, produciéndose unas fuerzas que arrastran el turbio en la parte central inferior de dicho tanque (8).

Enfriamiento: El último paso antes de la fermentación es el enfriamiento. El mosto decantado, se encuentra a una temperatura aproximada de 70-80 °C, se enfría hasta unos 10-15 °C en un intercambiador de placas.

Debido a la gran actividad de producción que se realiza en la elaboración del mosto, el área de cocimiento es la fuente que aporta la mayor cantidad de sólidos orgánicos, producto de la limpieza del tanque del filtro de mosto, tanque whirpool como se describe a continuación.

2.3.1.1. Limpieza en el Área de Cocimiento

La mayor cantidad de aguas residuales que se generan es debido a los procesos de limpieza de los recipientes utilizados, la limpieza de la Cuba Filtro y del Sedimentador Whirpool se realiza en intervalos de 4 horas, y la limpieza general del área de cocimiento que se realiza una vez a la semana.

2.3.1.1.1. Lavado de Cuba Filtro

Las aguas generadas por el lavado de la cuba filtro, son aguas que contienen residuos de bagazo de cebada. Estos residuos aportan bastante sólidos sedimentables y sólidos suspendidos, la cual aporta elevada carga orgánica. El lavado de la cuba filtra aporta al sistema de tratamiento de aguas residuales aproximadamente 1330 litros/carga con una cantidad de bagazo residual de cebada entre 10 a 15 kilogramo/carga.

2.3.1.1.2. Lavado del Sedimentador Whirpool

Las aguas generadas por el lavado del sedimentador Whirpool contienen sólidos denominados trub, que son sólidos restos de lúpulo y complejos de proteínas-polifenoles precipitados y residuo de mosto, estos componentes aportan elevada carga orgánica al sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la figura 2-3 se observa el inicio de la operación de lavado del sedimentador Whirpool donde se descarga el mosto residual.

Figura 2-3
Residuo de Mosto del Sedimentador Whirlpool



Durante la limpieza del sedimentador Whirlpool se generan aproximadamente 452,9 l/carga de aguas de lavado del tanque sedimentador y entre 5 a 8 kg. de trub.

La figura 2-4 muestra el lavado del sedimentador Whirlpool donde se observa el elevado caudal de las aguas residuales.

Figura 2-4
Limpieza del Sedimentador Whirlpool



En la tabla II-1 se muestra la cantidad de carga orgánica del turbio que se descarga del sedimentador Whirlpool.

Tabla II-1
Característica Físicoquímica del Turbio

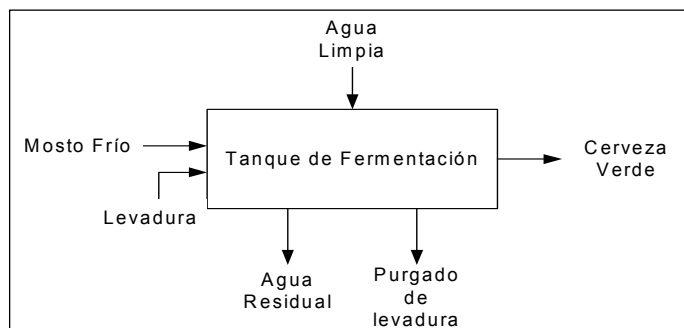
Residuo	DBO ₅ (mg/l)	DQO(mg/l)	Cantidad
Turbio	110400	240000	0,2-0,4% del mosto

Fuente: Elaboración propia, 2010.

2.3.2. Área de Fermentación

La transformación del mosto en cerveza se realiza mediante la fermentación de los azúcares transformándolos en alcohol y anhídrido carbónico (CO₂) por acción de las levaduras *Saccharomyces Cerevisiae* (7).

Figura 2-5
Diagrama del Proceso de Fermentación



Fuente: Elaboración propia, 2011.

2.3.2.1. Limpieza en el Área de Fermentación

En el área de fermentación las aguas residuales generadas son debido a la limpieza de los tanques de fermentación que se realizan después de cada traspaso de cerveza a los tanques de maduración.

2.3.2.1.1. Lavado del Tanque de Fermentación

Las aguas residuales que se originan debido a la limpieza de los tanques de fermentación contienen restos de levaduras y cerveza verde, lo cual significa que tiene un aporte microbiológico y elevada carga orgánica. El lavado de los tanques de fermentación genera aproximadamente 5327,5 litros de aguas residuales.

En la figura 2-6 muestran los tanques de fermentación, que son lavados después del traspaso de cerveza verde a los tanques de maduración, donde el exceso de levadura es depositado en recipiente para ser desechados.

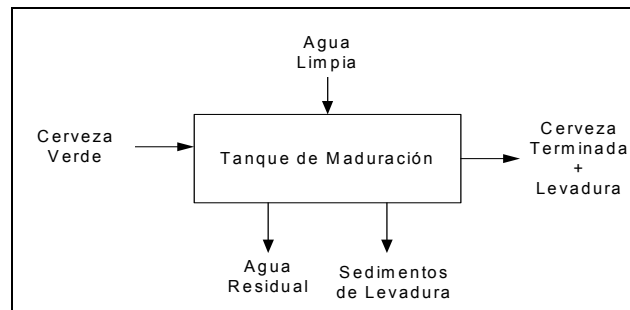
Figura 2-6
Tanque Cónico de Fermentación



2.3.3. Área de Maduración

En los tanques de maduración tiene lugar la fermentación secundaria con la levadura arrastrada, en este periodo la cerveza adquiere el sabor y aromas típicos, donde las levaduras y otros compuestos causantes de la turbidez van sedimentando lentamente (8).

Figura 2-7
Diagrama de Proceso de Maduración



Fuente: Elaboración propia, 2011.

2.3.3.1. Limpieza en el Área de Maduración

Las aguas residuales que se generan en el área de maduración son producto de la limpieza de los tanques de maduración. La limpieza de los tanques una vez que se desocupa la cerveza madura que es filtrada.

2.3.3.1. Lavado de Tanque de Maduración

Las aguas residuales del lavado de los tanques de maduración contienen levaduras y restos de cerveza residual que son arrastrados durante la operación lavado de los tanques de maduración. Esta operación de limpieza genera aproximadamente 4560,02 litros de aguas residuales por día.

En la tabla II-2 se muestra la concentración de los componentes contaminantes que son arrastrados por el agua de lavado.

Tabla II-2
Concentración de los Componentes Contaminantes de Fermentación y
Maduración

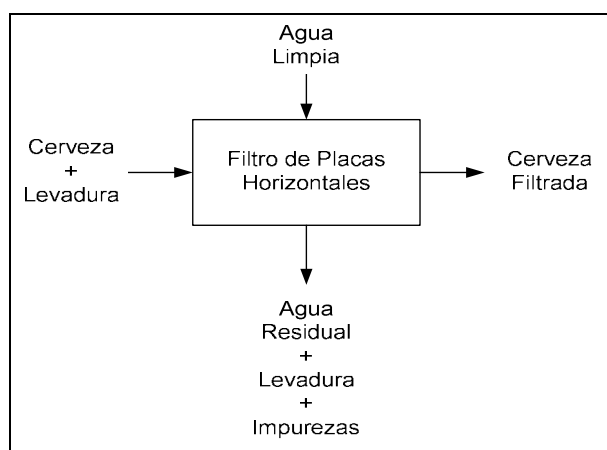
Residuos	DBO(mg/l)	DQO(mg/l)	Cantidad
Suspensión de Levaduras	127000	253000	2-4 Kg/Hl de cerveza
Cerveza Residual	78550	149000	1-3 % del total

Fuente: Elaboración propia, 2010.

2.3.4. Área de Filtración

El objetivo de la fase de filtración es eliminar las impurezas causantes de la turbidez que contiene la cerveza madura dándole a esta el brillo y la transparencia requerida a través de un filtro de tierras diatomeas con placas horizontales (7).

Figura 2-8
Diagrama del proceso de Filtración de Cerveza



Fuente: Elaboración propia, 2011.

2.3.4.1. Limpieza del Filtro de Cerveza

Las aguas residuales que provienen del área de filtración, son aguas generadas por el proceso del lavado del filtro de cerveza, estas aguas contienen restos de levaduras y tierras diatomeas las cuales son arrastradas durante la operación de lavado. La limpieza del filtro de cerveza se realiza una vez cuando termina el proceso de filtración la cual genera aproximadamente 6300,055 litros por lavado del filtro.

La figura 2-9 muestra el filtro de cerveza donde se observan restos de tierra diatomeas en el piso producto del lavado del filtro.

Figura 2-9
Filtro de Cerveza



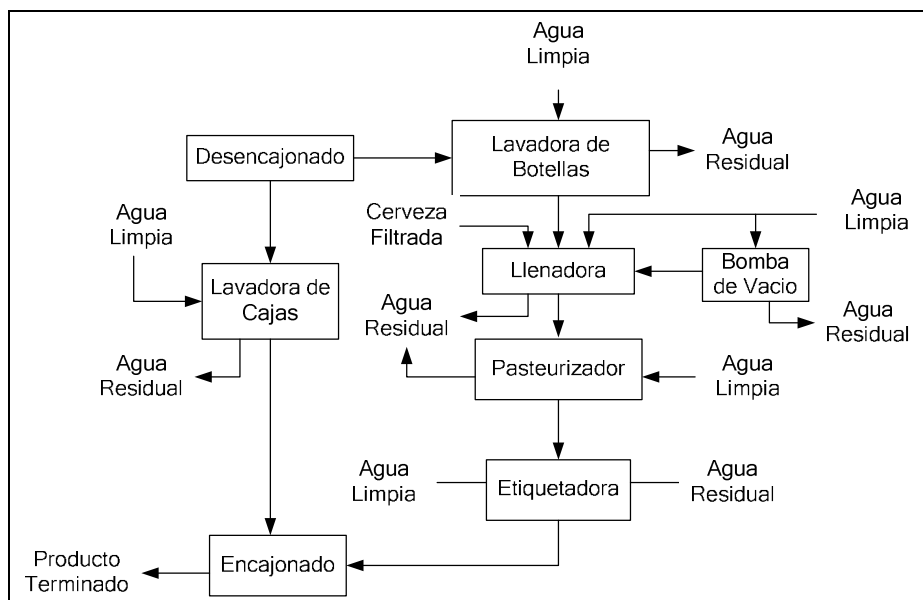
2.3.5. Área de Embotellado

El embotellado consiste en el envasado de cerveza para obtener un producto final, para ello el área de embotellado comprende de varias etapas que son el lavado de botellas, llenado de cerveza, pasteurización, etiquetado, lavado de cajas.

En el área de embotellado es donde se generan la mayor cantidad de aguas residuales que provienen principalmente de los procesos de pasteurización, lavadora de botellas y bomba de vacío.

En la figura 2-10 se muestra el diagrama del proceso de embotellado de la cerveza, donde se indican cada una de las operaciones del área de embotellado.

Figura 2-10
Diagrama del Proceso de Embotellado de Cerveza



Fuente: Elaboración propia, 2011.

2.3.5.1. Lavadora de Botellas

La lavadora de botellas es la encargada de eliminar los residuos contaminantes de las botellas sucias mediante baños de soda cáustica al 2,5 % peso/peso y enjuagues con agua limpia.

La operación del lavado de botellas generan bastante aguas residuales aproximadamente 70116,07 litros por día de envasado, por la acción del enjuague de las botellas, las cuales tienen características de pH básicos que están entre 8,5-11,5 las mismas contienen sólidos inorgánicos sedimentables, donde el aporte de carga orgánica de estas aguas es muy bajo.

En la figura 2-11 se observan las aguas residuales que salen de la lavadora de botellas en el canal para dirigirse a la cámara de captación de las aguas residuales.

Figura 2-11
Agua de Salida de la Lavadora de Botellas



La figura 2-12 muestra los residuos sólidos que desecha la lavadora de botella que son retenidos por un tamiz tipo canasto antes de ingresar a la cámara de captación de aguas residuales.

Figura 2-12
Cedazo de Retención de los Sólidos de la Lavadora de Botellas



2.3.5.2. Pasteurizador

Las botellas llenas y taponadas pasan por baños de duchas dentro del túnel de pasteurización que están provistos de aspersores que lanzan chorros de agua a temperaturas variables, donde gradualmente se calientan hasta 65°C durante un cierto periodo de tiempo y luego se enfrían a temperatura ambiente. El pasteurizado se realiza con el fin de eliminar toda forma de vida microbiana, incluyendo las levaduras. Este objetivo se logra aplicando un shock térmico, manteniendo inalterables sus propiedades nutritivas de la cerveza.

Las aguas residuales que provienen del proceso de pasteurización es producto de las duchas de aguas que se realizan, estas son aguas residuales que no contienen sólidos, y que no contienen carga orgánica considerable. El volumen que arroja esta operación es aproximadamente 38840,184 litros por día de envasado.

En la figura 2-13 se observa las aguas residuales generadas en el pasteurizador de cerveza.

Figura 2-13
Aguas del Proceso de Pasteurización



En la tabla II-3 se muestra las características fisicoquímicas de las aguas residuales que se generan en la lavadora de botellas y en el pasteurizador donde se observa que

la carga orgánica es baja.

Tabla II-3
Características Físicoquímicas de las Aguas Residuales del Área de Envasado

Aguas Residuales	pH	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Lavadora de Botellas	12,00	595,00	315,00
Pasteurizador	7,18	102,00	51,00

Fuente: Datos Cervecería procesados por el CEANID.

2.3.5.3. Bomba de Vacío

La bomba de vacío es la encargada de generar presión negativa en la botella para completar las fases de pre evacuación y evacuación de oxígeno de la botella, para ello la bomba utiliza agua como líquido sellante, este se descarga como agua residual. Esta operación genera aproximadamente 19082,539 litros por día de envasado.

La figura 2-14 muestra la bomba de vacío en actividad donde se observa el agua residual que aporta a la planta de tratamiento aguas residuales. El agua residual que se genera en la bomba de vacío no contiene materia orgánica, es un agua que tiene las condiciones para ser reutilizado.

Figura 2-14
Bomba de Vacío



En la tabla II-4 se muestra la cantidad de aguas residuales generadas en el proceso de limpieza en las áreas de cocimiento, fermentación, maduración, filtración de cerveza y envasado.

Tabla II-4
Caudales Promedio de Aguas Residuales Generados en la Operación de Limpieza

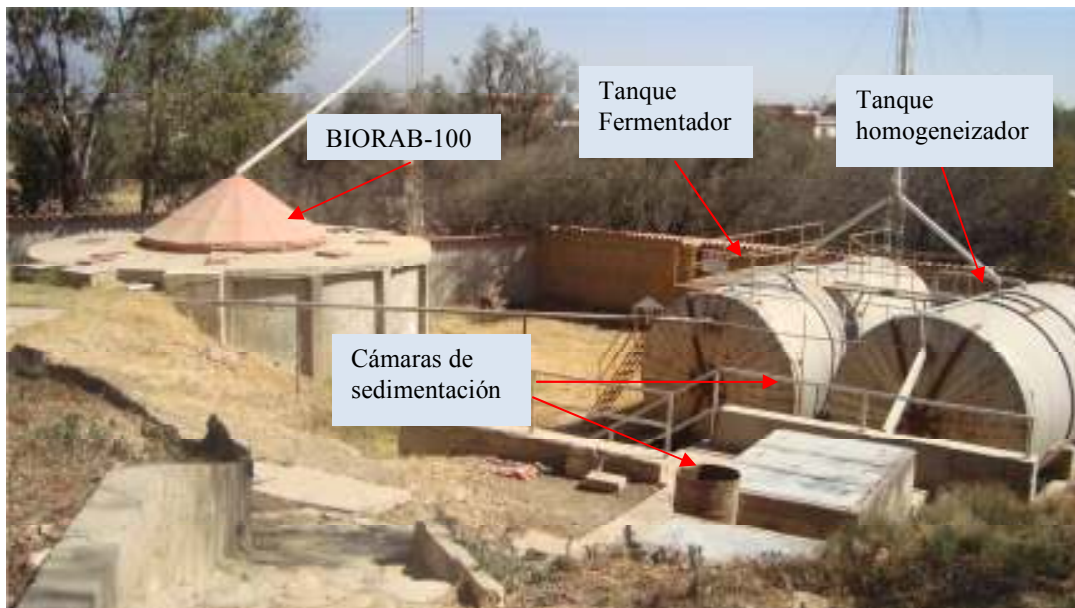
Proceso de Lavado	l/mes	m ³ /mes
Molino	8928,82	8,93
Caldera de Sacarificación	18537,00	18,54
Olla filtro	120036,90	120,04
Caldera de Cocción	14400,80	14,40
Sedimentador Whirlpool	40648,50	40,65
Cuba Fermentación	79912,50	79,91
Cuba de Maduración	68400,30	68,40
Filtro de Cerveza	94500,82	94,50
Lavado de Planta	396400,00	396,40
Lavadora de Botellas	1051741,06	1051,74
Lavadora de Cajas	36191,25	36,19
Pasteurizador	582602,75	582,60
Bomba de Vacío	286238,09	286,24
Total	2798538,80	2798,54

Fuente: Elaboración Propia, 2010.

2.4. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA

La Cervecería ASTRA, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales puesto en marcha en el 2002, pero ha sufrido algunas modificaciones a finales del 2009 para lograr mejorar la eficiencia de la degradación de la materia orgánica que es el principal contaminante de las aguas residuales de la Cervecería ASTRA. Estas modificaciones consisten en una etapa de sedimentación, homogenización y fermentación.

Figura 2-15
Procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



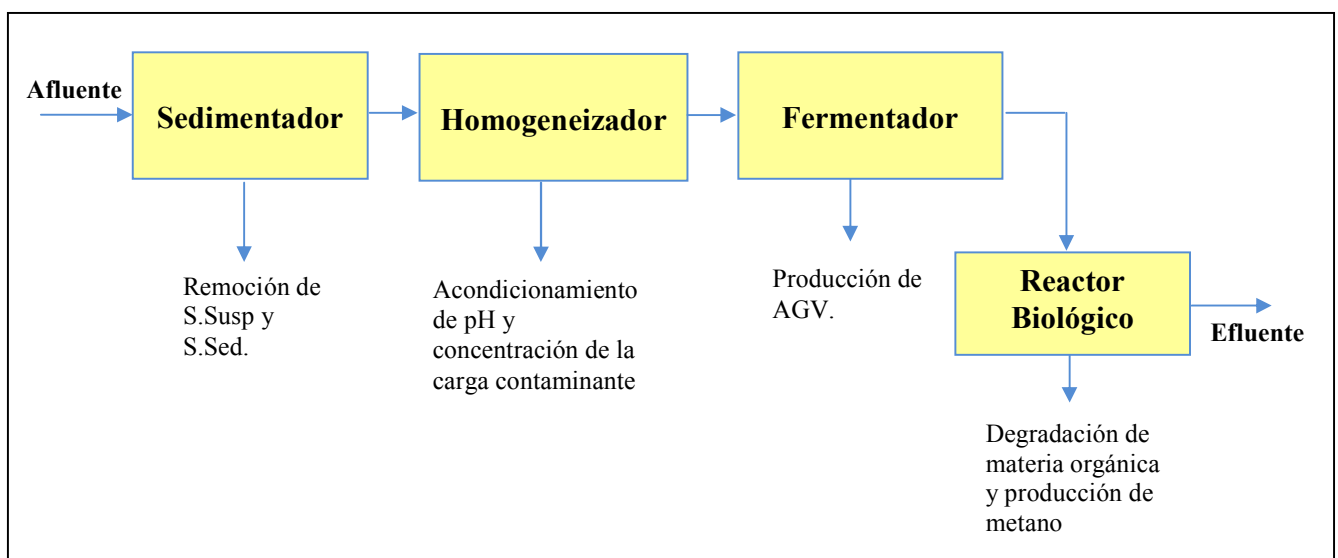
La figura 2-15 muestra la actual planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería ASTRA, donde se observa los procesos de tratamiento de las aguas residuales que consisten en dos cámaras de sedimentación, tanque homogeneizador,

tanque de fermentador, y el reactor anaerobio BIORAB-100.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería ASTRA tiene la función de eliminar los sólidos y materia orgánica que contienen las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento, para ello el sistema de tratamiento de aguas residuales comprende de varias etapas de tratamientos de las aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

En la figura 2-16 se muestra el diagrama de bloques de la planta tratamiento de aguas residuales, donde indican las etapas de tratamiento de las aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

Figura 2-16
Diagrama de Bloques de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Existente



Fuente: Elaboración propia, 2010.

2.4.1. Sedimentación

El proceso de sedimentación tiene dos etapas, la primera consiste en la sedimentación primaria y la segunda de preclarificación, las dos etapas tienen el mismo principio y finalidad, que es de sedimentar la mayor cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua residual, para así evitar problemas de ineficiencia en el proceso de fermentación anaerobia.

2.4.1.1. Sedimentación Primaria

El primer paso del proceso es la sedimentación primaria donde el agua residual a tratar ingresa a la primera cámara sedimentadora, que tiene la finalidad de eliminar los sólidos fácilmente sedimentables que por acción de la gravedad se van depositando en la cámara, el agua residual a tratar está compuesta principalmente de sémola, bagazo, tierra diatomea y algo de etiquetas.

En la figura 2-17 se observa la primera cámara de sedimentación que tiene una malla que ayuda a retener los sólidos gruesos.

Figura 2-17
Sedimentador Primario

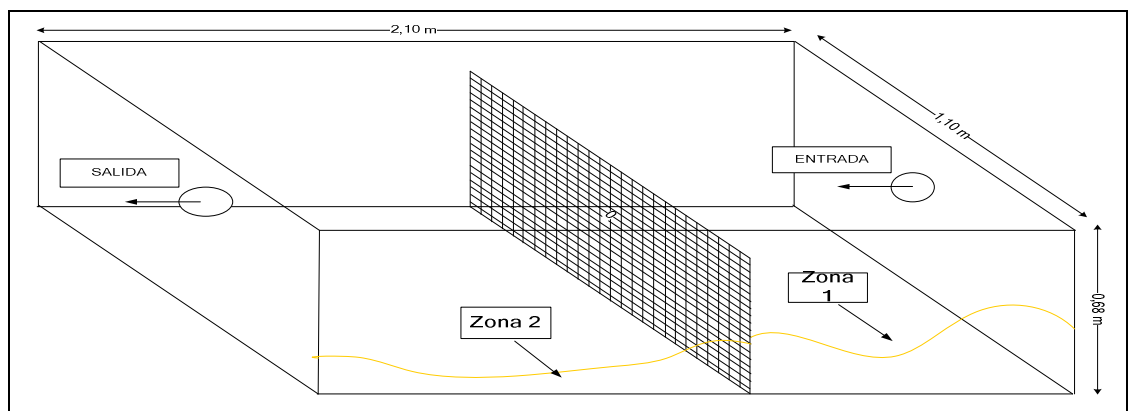


2.4.1.1.1. Características de Funcionamiento

La primera cámara de sedimentación tiene la finalidad de eliminar los sólidos de mayor tamaño para ello tiene en su interior una malla tamiz de 2,5 mm de diámetro.

La malla dentro de la cámara de sedimentación produce dos zonas de sedimentación, una zona 1 donde se concentra mayor cantidad de sólidos y otra zona 2 de menor acumulación de sólidos. En la zona 1 es donde se tiene mayor acumulación de sólidos donde es preciso retirar los sólidos sedimentados para que no produzca interferencia en el proceso de sedimentación.

Figura 2-18
Cámara del Sedimentador Primario



Fuente: Elaboración propia, 2010.

2.4.1.1.2. Características de Diseño

La cámara de sedimentación es un recipiente de concreto que tiene 2,1 m de largo, 1,1 m de ancho y 0,68 m de alto, tiene un volumen de recipiente de $1,6 \text{ m}^3$, un volumen ocupado de $1,2 \text{ m}^3$ y un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 0,097 h.

Las características del agua residual que ingresan al sedimentador primario que se observa en la tabla II-VII, donde se hacen referencia los valores promedio de los resultados de análisis obtenidos en los laboratorios externos (COSAALT y APROTEC).

La tabla II-5 muestra los valores promedios de las características fisicoquímicas del agua residual que ingresan al Sedimentador Primario.

Tabla II-5
Características del Agua Residual que Ingresan al Sedimentador Primario

Parámetro	Unidad	Promedio
Caudal	(l/s)	3,41
Temperatura	(°C)	29,17
pH		9,47
Sólidos en Suspensión	(mg/l)	243,67
Sólidos Sedimentables	(mg/l)	7,80
Sólidos Totales	(mg/l)	1908,95
DBO₅	(mg/l)	1728,17
DQO	(mg/l)	2941,29
Coliformes Totales	(NMP/100ml)	7,02E+09
Escherichia Coli	(NMP/100ml)	5,90E+08

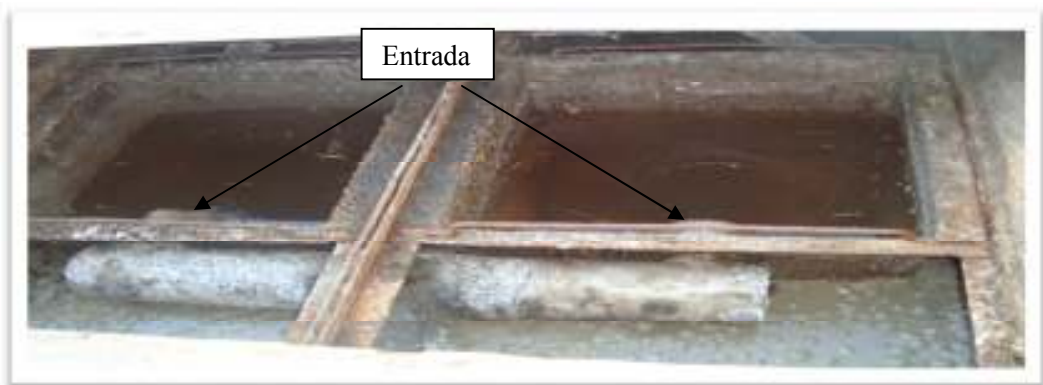
Fuente: Datos procesados en el laboratorio externos (COSAALT y APROTEC), 2010.

2.4.1.2. Preclarificación

Después del sedimentador primario el agua ingresa a la segunda cámara de sedimentación o de preclarificación que tiene la finalidad de retener los sólidos suspendidos que no han sedimentado en la primera cámara de sedimentación que se encuentran en el agua residual. Este proceso ayuda a mejorar la remoción de los sólidos ya que es importante que los sólidos sean eliminados para que no ocasionen ineficiencia en el funcionamiento del proceso anaerobio.

La figura 2-19 muestra la entrada del preclarificador donde se observa dos tamices colocados a la entrada de la cámara esto es para retener los sólidos gruesos que podrían pasar la primera cámara de sedimentación.

Figura 2-19
Entrada al Preclarificador



2.4.1.2.1 Características de Funcionamiento

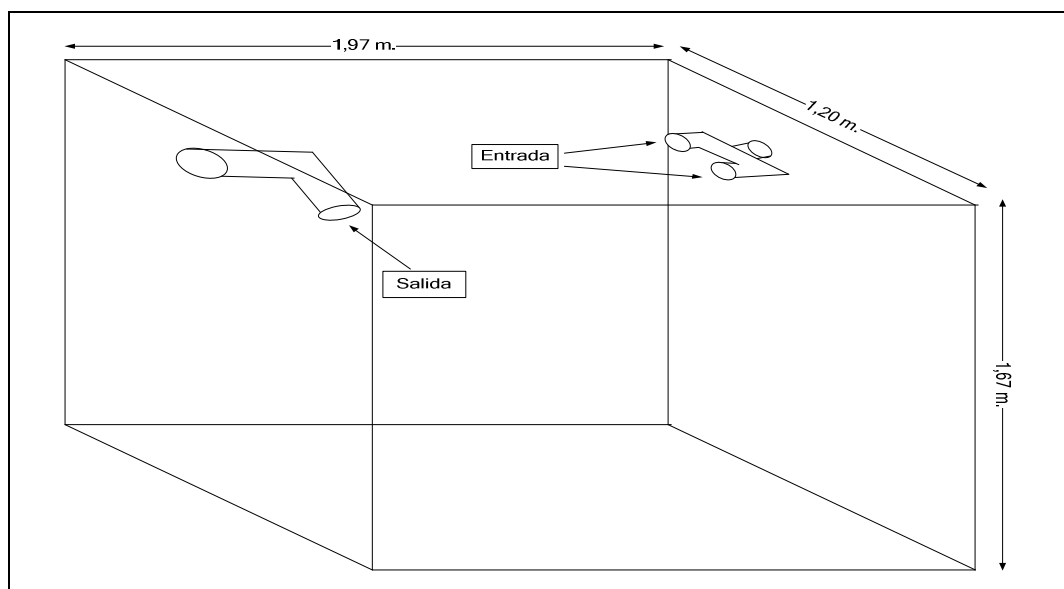
Los cedazos que están en la entrada del preclarificador que se observa en la figura 2-19 tienen la función de retener los sólidos gruesos que pasan de la primera cámara de

sedimentación las perforaciones tienen 2,5 mm de diámetro. Donde el tubo de salida de la segunda cámara de sedimentación tiene una forma de codo de 45° que está sumergido 30 cm. bajo el nivel del agua esta forma del tubo de salida ayuda a retener los sólidos flotantes y no logren pasar a la siguiente etapa de tratamiento.

2.4.1.2.2. Características de Diseño

El preclarificador es una cámara de concreto de 1,97 m de largo, 1,20 m de ancho, 1,67 m de alto, que tiene un volumen total de 3,9 m³, un volumen ocupado por la masa de agua de 3,3 m³ y un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 0,269 hora.

Figura 2-20
Cámara Preclarificador



Fuente: Elaboración propia, 2010.

2.4.2. Homogeneizador

Luego de haber pasado el proceso físico, el agua residual pasa a un tanque de homogeneización que tiene el propósito de acondicionar el pH, la concentración de carga contaminante y el caudal, debido a que estos parámetros varían constantemente. Es importante el acondicionamiento de las aguas ya que las bacterias anaerobias son sensibles a los cambios bruscos de pH, y a la concentración de la carga contaminante.

2.4.2.1. Características de Funcionamiento

La homogeneización del pH y de carga contaminante se realiza por medio de una bomba de recirculación que produce el mezclado de las aguas residuales dentro del tanque, además de acondicionar el agua residual, el tanque también actúa como un amortiguador de los picos de caudal, manteniendo un flujo casi constante.

El tanque Homogeneizador además de acondicionar el agua residual es la última etapa de la sedimentación es por eso que el tanque de Homogeneización tiene una válvula de purgado de los sedimentos.

2.4.2.2. Características de Diseño

El tanque de Fermentación es cilíndrico, construidos en acero inoxidable, donde las dimensiones internas son de 7,85 m de largo y 3,85 m de diámetro, la misma tiene un volumen total $91,4 \text{ m}^3$ y un volumen ocupado de $86,3 \text{ m}^3$ y un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 7,03

La tabla II-6 muestra los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de salida del Tanque Homogeneizador.

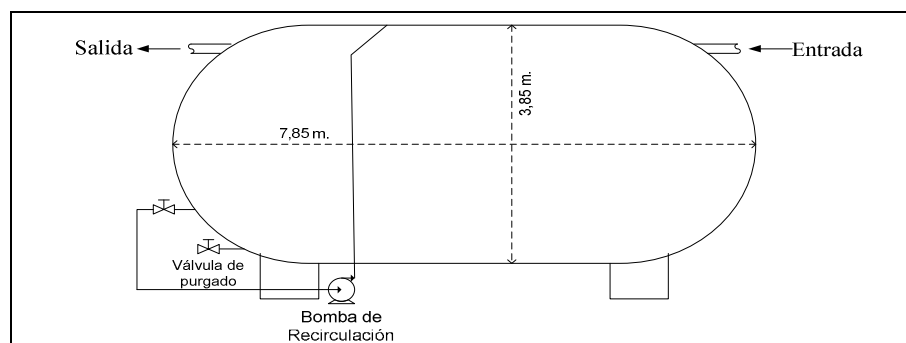
Tabla II-6
Características del Agua Residual de Salida del Tanque Homogeneizador

Parámetro	Unidad	Promedio
Caudal	(l/s)	3,34
Temperatura	(°C)	29,50
pH		5,25
Sólidos en Suspensión	(mg/l)	68,00
Sólidos Totales	(mg/l)	375,00
DBO ₅	(mg/l)	1820,00
DQO	(mg/l)	2853,00

Fuente: Elaboración propia, 2010.

La figura 2-21 muestra las características físicas del Tanque Homogeneizador.

Figura 2-21
Tanque Homogeneizador



Fuente: Elaboración propia, 2010.

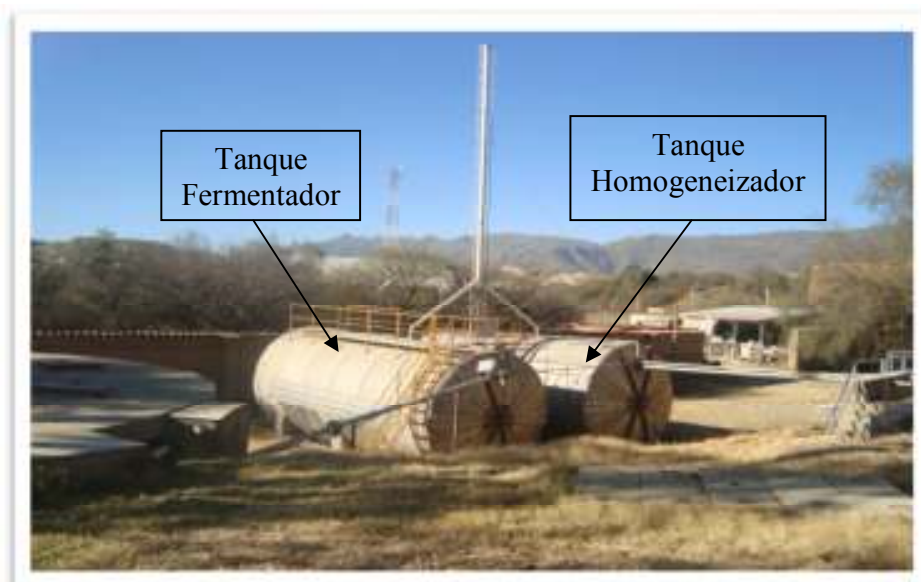
2.4.3. Fermentador

Una vez acondicionada el agua residual pasa al tanque de fermentación que tiene la función de empezar el proceso anaerobio es decir que en esta etapa es donde se lleva a cabo las reacciones de hidrolisis y de acidificación para obtener como producto intermedio ácidos grasos volátiles.

Los principales son el ácido acético, ácido propiónico y el ácido butírico. En el reactor, los AGVs no deberán sobrepasar los 8meq/l (Wasser, 1996) (19).

En la figura 2-22 se muestran los tanques de homogenización y de fermentación de las aguas residuales.

Figura 2-22
Tanque Homogeneizador y Fermentador



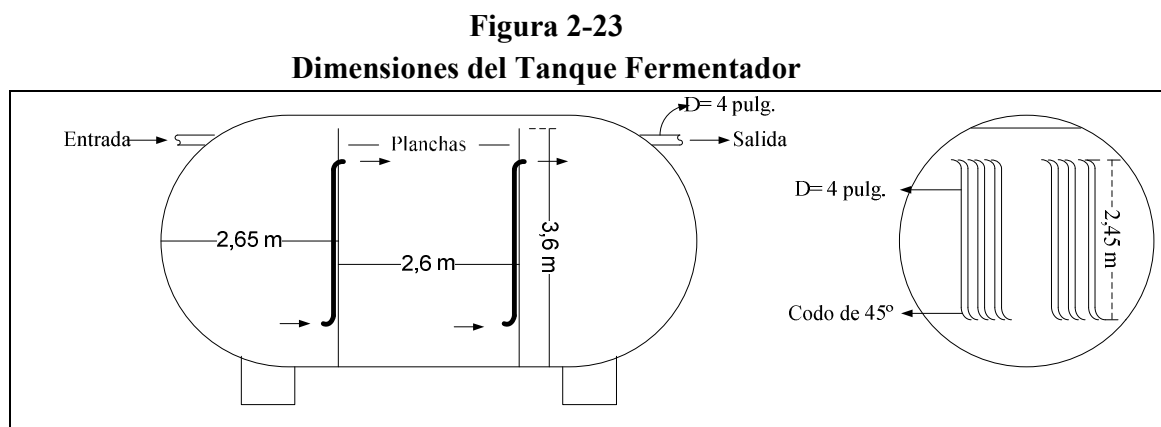
2.4.3.1. Características de Funcionamiento

El tanque Fermentador es la etapa donde se lleva a cabo el proceso de Fermentación anaerobia del agua residual donde ocurre una leve acidificación que indica la producción de los ácidos grasos volátiles, para ello el tanque de fermentación tiene dos deflectores lo cual forman tres cámaras donde se lleva a cabo la reacción de fermentación, cada una de las cámaras del tanque contiene lodo anaerobio.

2.4.3.2. Características de Diseño

El tanque de Fermentador es cilíndrico, construido en acero inoxidable donde las dimensiones internas son de 7,85 m de largo y 3,85 m de diámetro, las mimas tienen un volumen total $91,4 \text{ m}^3$ y un volumen ocupado de $85,4 \text{ m}^3$ y un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 6,95 h.

En la figura 2-23 se muestran las características estructurales interna del tanque fermentador donde se observa las dimensiones del tanque fermentador.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

La tabla II-7 indica los valores promedios de las características fisicoquímicas del agua residual de salida del Tanque Fermentador.

Tabla II-7
Características del agua Residual de Salida del Tanque Fermentador

Parámetro	Unidad	Promedio
Caudal	(l/s)	3,34
Temperatura	(°C)	28,80
pH		5,10
Sólidos en Suspensión	(mg/l)	108,00
Sólidos Totales	(mg/l)	422,00
DBO ₅	(mg/l)	1805,00
DQO	(mg/l)	2775,00

Fuente: Elaboración propia, 2010.

2.4.4. Reactor Biológico Anaerobio (BIORAB-100)

El BIORAB-100 es un reactor anaerobio a pistón y cámaras hidrolizantes, dentro del cual se desarrollan flora microbiana anaerobia inmovilizada (en forma de gránulos o flóculos) de elevada actividad metanogénica, la cual tiene como finalidad degradar la materia orgánica presente en el agua residual a metano y dióxido de carbono (5).

En todas las cámaras, el flujo es ascendente lo que favorece a la auto selección bacteriana y a la formación de un lecho de lodo, a través del cual pasa el agua residual (5).

La figura 2-24 muestra el sistema anaerobio BIORAB-100.

Figura 2-24
Sistema Anaerobio BIORAB-100

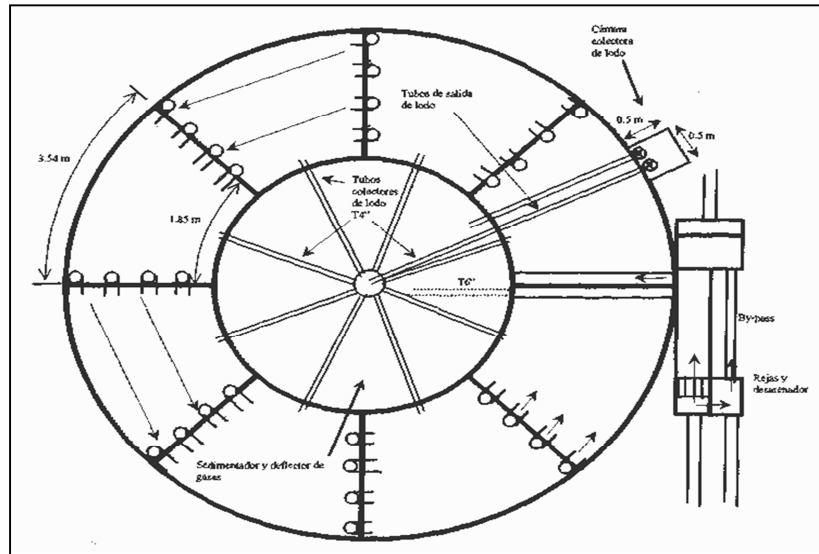


2.4.4.1. Características de Diseño

El BIORAB-100 es un recipiente cilíndrico de concreto de 4,5 m de largo y 9,04 m de diámetro, el reactor está constituido de nueve cámaras, donde ocho son cámaras hidrolizantes de igual dimensión que están formadas alrededor de una cámara central cilíndrica de mayor capacidad que actúa como sedimentador.

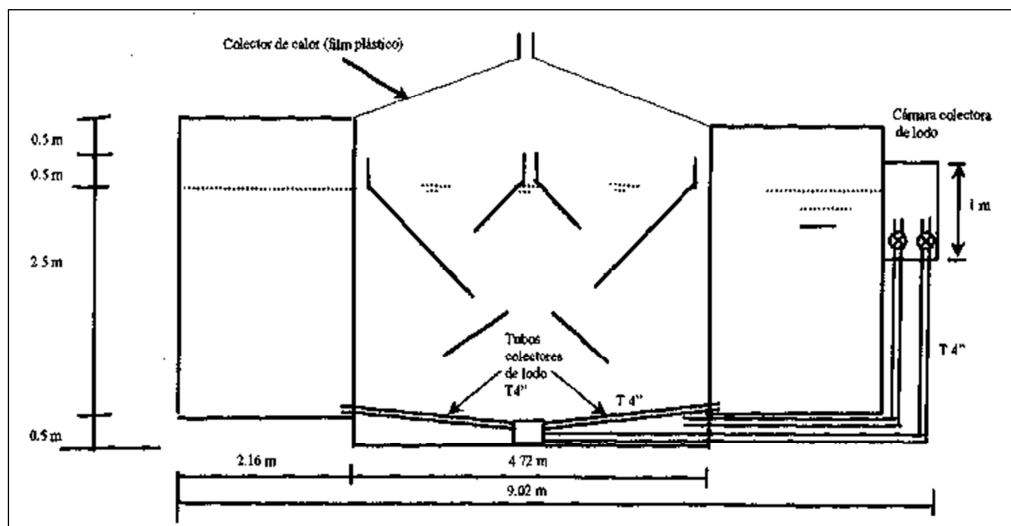
Las ocho cámaras tienen 3,5 m de profundidad, 3,54-1,45 m. de ancho y 2,16 m de largo; por otro lado la cámara central tiene 4 m de profundidad y 4,72 de diámetro. El reactor tiene una capacidad de 233 m³ donde cada una de las cámaras hidrolizantes tiene un volumen total de 20,4 m³ y 14,6 m³ de volumen ocupado; la cámara central una capacidad de 70 m³ y 53,2 m³ de volumen ocupado por la masa de agua residual, y tiene un tiempo de retención hidráulico (TRH), de 1,21 h. en las cámaras hidrolizantes, y de 4,42 h. en la cámara central cilíndrica.

Figura 2-25
BIORAB-100 Vista Superior



Fuente: MEDINA HOYOS I, *Manual de Operación del BIORAB-100*, 2001.

Figura 2-26
BIORAB-100 vista Frontal



Fuente: MEDINA HOYOS I, *Manual de Operación del BIORAB-100*, 2001.

La tabla II-8 muestra los valores promedios de las características fisicoquímicas del agua residual de salida del BIORAB-100.

Tabla II-8
Valores Promedio del Agua Residual de Salida del BIORAB-100

Parámetro	Unidad	Promedio
Caudal	(l/s)	3,25
Temperatura	(°C)	24,13
pH		4,93
Sólidos en Suspensión	(mg/l)	203,50
Sólidos Totales	(mg/l)	1251,0
DBO₅	(mg/l)	1400,42
DQO	(mg/l)	2123,88

Fuente: Datos procesados en laboratorios Externos (COSSALT y APROTEC), 2010.

3.1. Determinación del Afluyente y Efluente en la Planta de Producción de Cerveza

La determinación del caudal del afluyente y efluente se desarrollo en la planta de producción de cerveza, con el fin de conocer el volumen promedio mensual y el volumen promedio día de consumo de agua fresca y el agua residual que desecha la planta de producción de cerveza.

3.1.1. Determinación del Afluyente

La determinación del afluyente se registro mediante un flujometro que registra el consumo de aguas fresca de la planta de producción, los valores registrados son valores mensuales como se observa en el anexo 1, donde se obtuvo un promedio mensual de 4208,525 m³/mes.

3.1.2. Determinación del Efluente

El efluente de la planta de producción es el residuo líquido a tratar en la planta de tratamiento de aguas residuales. El efluente es el residuo líquido que proviene principalmente de las operaciones de limpieza en los distintos equipos y recipientes de las distintas áreas, para la determinación realizo un balance que se resumen en el anexo 2.

También se determina el caudal al ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de conocer como varía de acuerdo a los procesos productivos desarrollados en la planta de producción, donde se observo que el flujo

varía constantemente. Las mediciones en este punto se determinan mediante un balde de 20 litros y cronómetro.

En la siguiente tabla se muestra los valores promedio máximo y mínimo del caudal del afluente que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Se determina los caudales de ingreso a la planta de tratamiento durante la gestión 2009 dentro de los meses de octubre, noviembre, y en la gestión 2010 entre los meses de enero, febrero.

Los valores del caudal se determina durante las 6 am. Hasta las 17:30 pm. Se realizo la medición de los caudales durante estos meses por que en estas fechas es donde existe mayor actividad en la producción por la demanda del producto en el mercado.

La tabla III-1 indica los valores promedio del caudal de ingreso al sistema de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

Tabla III-1
Caudal del Afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Meses	Promedio (l/s)	Promedio (m³/h)
Octubre 2009	3,395	12,222
Noviembre 2009	3,419	12,308
Enero 2010	3,401	12,244
Febrero 2010	3,420	12,312
Promedio	3,41	12,28
Máximo	6,12	22,03
Mínimo	1,45	5,22

Fuente: Elaboración propia, 2010.

3.2. Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos del Afluyente

Los parámetros físicoquímicos y microbiológicos son determinados para conocer la concentración de carga contaminante del afluyente a tratar en la planta de tratamiento de aguas residuales, estas características nos ayudará a emplear el tratamiento adecuado para la eliminación de los componentes contaminantes.

Los valores obtenidos que se observa en la tabla III-2 se determinó en los laboratorios de COSAALT y APROTEC, donde se resumen los parámetros de Temperatura, pH, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales y Escherichia Coli.

La tabla III-2 indica los valores de las características físicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales que ingresan al sistema de tratamiento de aguas residuales determinados en los laboratorios de COSAALT y APROTEC.

Tabla III-2
Promedio Mensual de las Características Físicoquímicas y Microbiológicas del Afluente

Meses	T(°C)	pH	Sólidos Suspendidos (mg/l)	Sólidos Sedimentables (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Escherichia Coli (NMP/100ml)
30-Sep-09	31,00	9,80	141,00	8,00		1493,50	2578,00		
29-Oct-09	35,00	10,10	158,00	4,00	1858,70	1282,50	2162,00		
27-Jul-10	24,30	10,25	340,00	3,80		2045,00	3520,00		
31-Ago-10	26,50	8,73	315,00	5,50	2008,60	2160,00	3615,20		
21-Oct-10	29,50	9,45	254,00	11,50	1930,50	2287,00	3862,13	6,70E+09	5,67E+08
4-Nov-10	28,70	8,50	254,00	14,00	1838,00	1101,00	1910,40		
Promedio	29,17	9,47	243,67	7,80	1908,95	1728,17	2941,29	6,7E+09	5,67E+08
Máximo	35,00	10,25	340,00	14,00	2008,60	2287,00	3862,13		
Mínimo	24,30	8,50	141,00	3,80	1838,00	1101,00	1910,40		

Fuente: Datos procesados en laboratorios externos (COSAALT y APROTEC).

Las siguientes figuras muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

Figura 3-1
Temperatura del Afluente

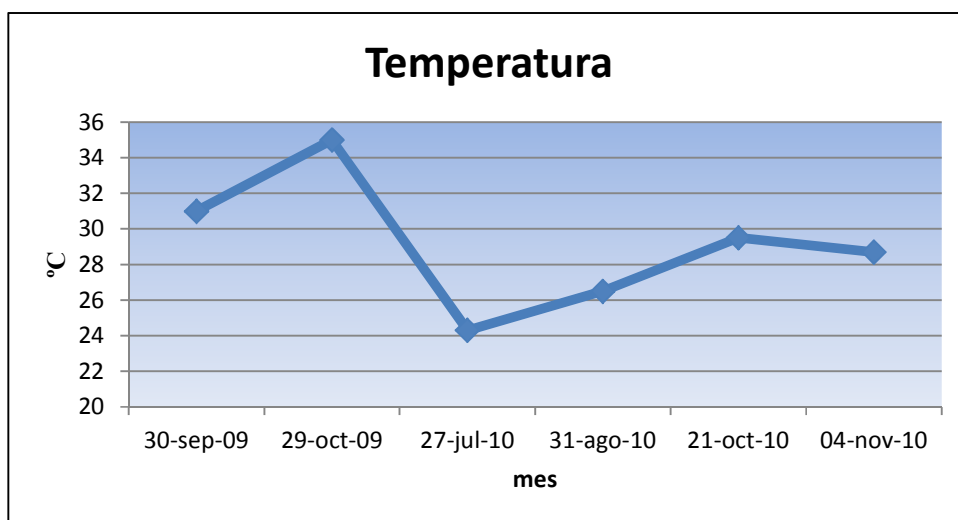


Figura 3-2
pH del Afluente

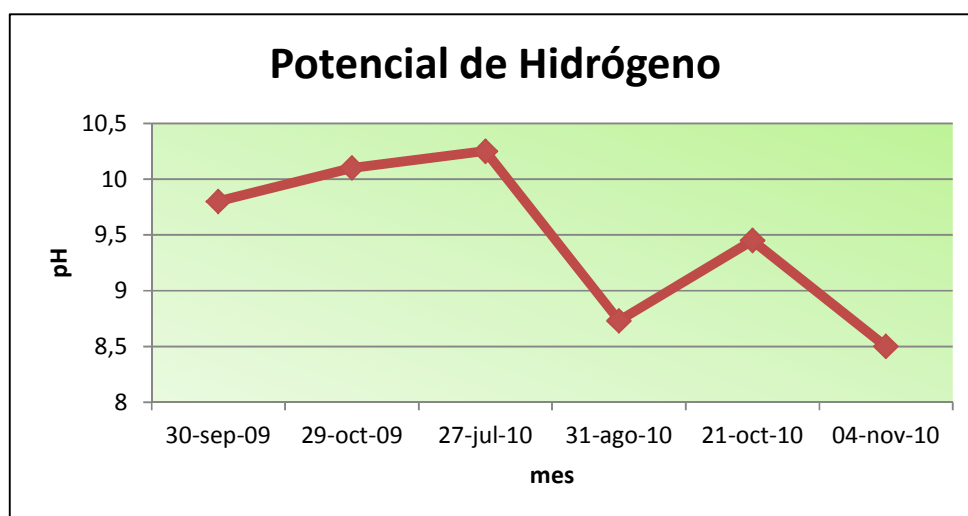


Figura 3-3
Sólidos en Suspensión del Afluyente

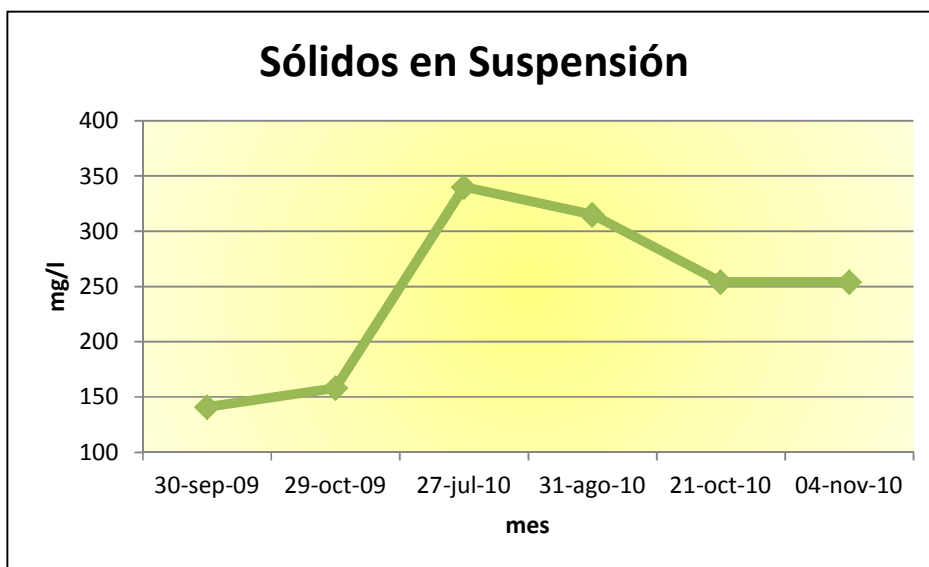


Figura 3-4
Sólidos Sedimentables del Afluyente

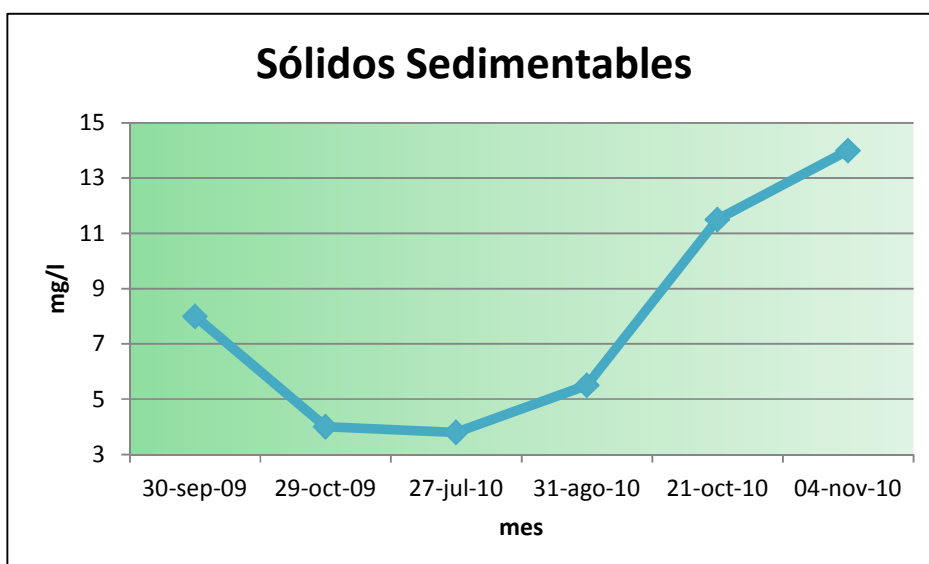


Figura 3-5
Sólidos Totales del Afluente

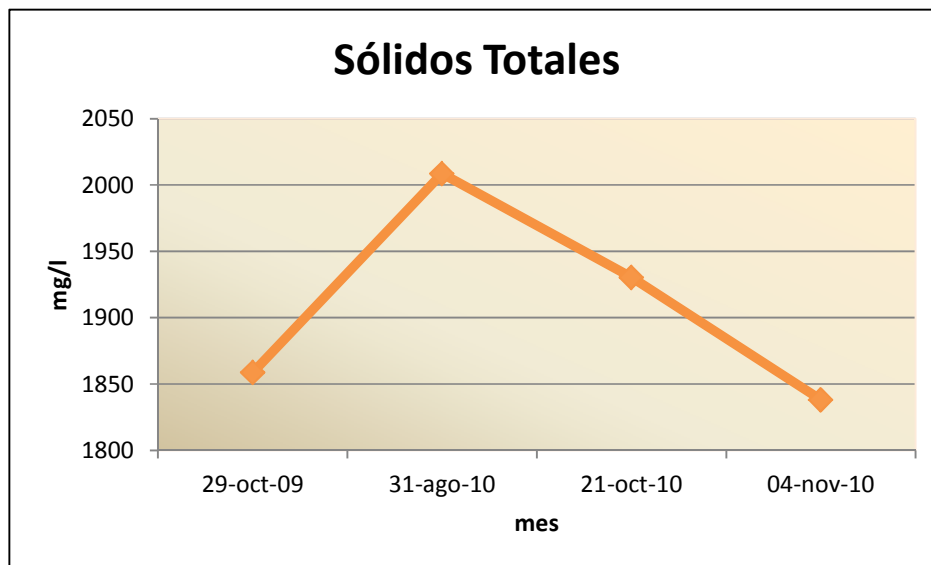


Figura 3-6
Demanda Biológica de Oxígeno del Afluente

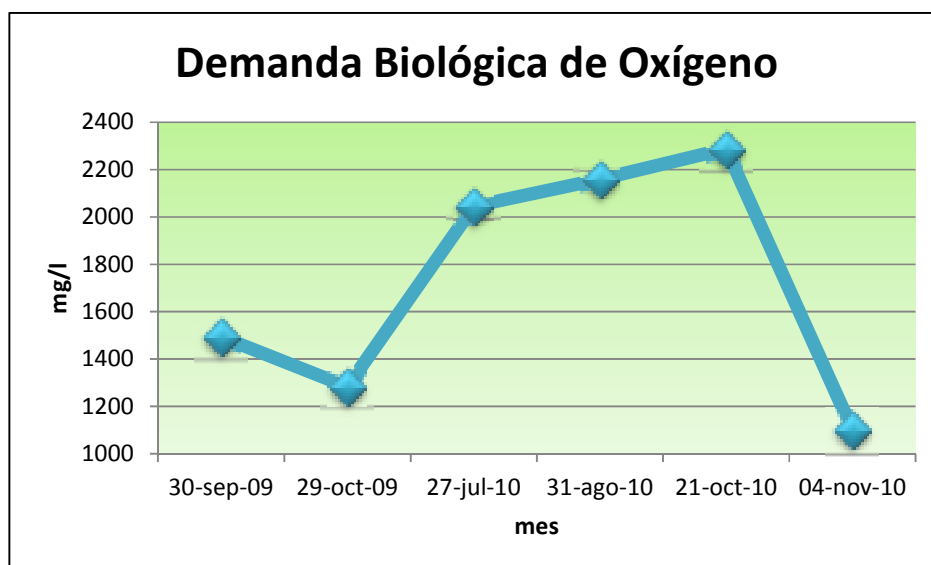
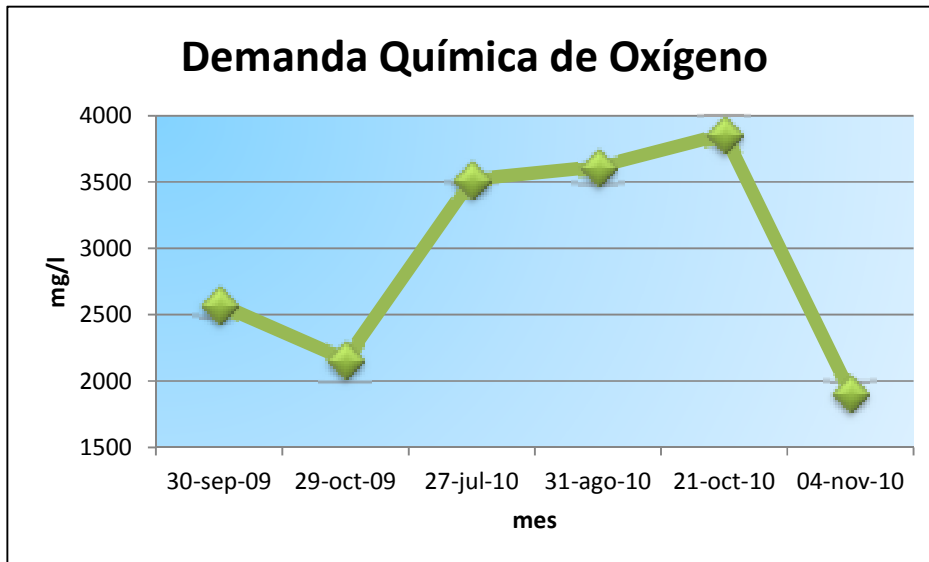


Figura 3-7
Demanda Química de Oxígeno del Afluyente



4.1. Diagnóstico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

El diagnóstico de la planta de tratamiento de Aguas Residuales se realiza en dos etapas, en la primera etapa se realiza el diagnóstico global de la planta de tratamiento de aguas residuales donde se determina los parámetros fisicoquímicos de entrada y salida de la planta de tratamiento, y la eficiencia global del sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la segunda etapa se realiza un diagnóstico diferenciado de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales donde se determina los parámetros fisicoquímicos en cada una de las etapas de tratamiento con el objeto de analizar el comportamiento de cada uno de los procesos. Los resultados del diagnóstico nos ayudarán a realizar un análisis crítico de los resultados y luego plantear soluciones a los problemas que se presentan en la planta de tratamientos de aguas residuales.

4.1.1. Diagnostico Inicial del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

En el diagnóstico general de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se determinan las características fisicoquímicas afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos que se resume en la tabla IV-1 ayudaran a determinar la eficiencia del actual sistema de tratamiento.

Los parámetros fisicoquímicos determinados como: la temperatura y el pH se determina *in situ*, mientras que la Demanda biológica de oxígeno DBO₅, Demanda Química de Oxígeno DQO, Sólidos Sedimentables, Sólidos suspendidos se determina en el laboratorio de aguas residuales de COSAALT.

Tabla IV-1
Caracterización Físicoquímica del Afluente y Efluente de la Planta de
Tratamiento de Aguas Residuales

Parámetro Físicoquímico	Unidad	Entrada	Salida	Límite por Convenio COSAALT	Remoción %	Observación
Temperatura	°C	24,30	17,60	<40		No excede
pH		10,25	4,71	6-9		Es ácido
Sólidos en suspensión	mg/L	340,00	100,00		70,58	No tiene referencia
Sólidos Sedimentables	ml/L	3,80	1,50			No tiene referencia
DBO ₅	mg/L	2045,00	1617,00	250	20,93	Excede 6,5 veces lo permitido
DQO	mg/L	3520,00	1805,00	500	48,72	Excede 3,6 veces lo permitido

Fuente: Datos procesados por COSAALT.

Los resultados obtenidos que se muestra en la tabla IV-1 nos indican que:

- La temperatura de entrada se encuentra en el rango mesofílico y el de salida se encuentra en un ambiente psicofílico, este puede ser un indicador de que hay un descenso de la actividad anaerobia.
- El pH de entrada es básico y este disminuye a pH ácido en la salida que puede ser producido por la acumulación de los AGVs, y por que la capacidad buffer del sistema es insuficiente.

- Los sólidos en suspensión presentes a la salida es inferior a la entrada obteniendo así un 70,58% de remoción.
- Los sólidos sedimentables presentes en la salida es inferior al valor que corresponde a la entrada.
- La DBO₅ y DQO tienen valores altos, los resultados bajos en la remoción de la materia orgánica, donde la concentración de la DBO₅ y DQO de salida no se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en el convenio con COSAALT.

Los resultados de remoción que se muestran en la tabla IV-I nos da a conocer que el sistema de tratamiento de aguas residuales no está funcionado eficientemente, por lo que se precisa realizar un estudio diagnóstico individual de cada una de las etapas de tratamiento para conocer los problemas que presentan cada una de las unidades del proceso que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.1.2. Diagnóstico Diferenciado a los Procesos de Tratamiento

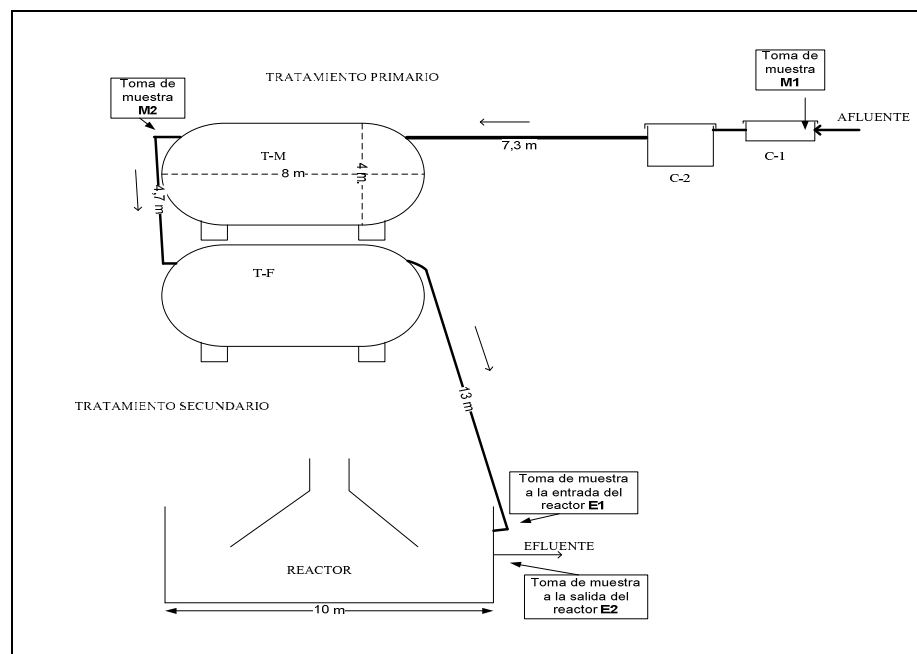
El diagnóstico diferenciado en cada una de las etapas de procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales, nos ayuda a conocer el comportamiento y la eficiencia de cada uno de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, a la par de identificar los problemas que están causando la baja eficiencia de remoción. Para ello se realiza la caracterización fisicoquímica en cada una de las etapas del tratamiento de las aguas residuales.

Los parámetros que se determinan para la caracterización, se analizan en muestras

compuestas, la temperatura, el pH, la Demanda Química de Oxígeno, la Demanda Biológica de Oxígeno, los que son realizados en el laboratorio de aguas residuales de la Empresa por mi persona como autor del trabajo de grado y en cumplimiento a las normas y procedimientos establecidos para cada ensayo. Con los resultados obtenidos se determina la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

En la figura 4-1 se muestran los puntos donde se debe tomar las muestras para su caracterización. El punto M1 es agua de entrada a la planta de tratamiento, M2 es el agua de salida del tanque de homogenización, E1 es el agua que entra al BIORAB-100, E2 es agua de salida del BIORAB-100. Se recogen las muestras en estos puntos porque son de fácil accesibilidad y por ser puntos representativos.

Figura 4-1
Toma de Muestra en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Los resultados obtenidos que se muestran en la tabla IV-2. Indican que existe un cambio repentino del pH en el punto M₂, debido a que el pH del agua residual que ingresa a la planta de tratamiento es de 11,47 esta disminuye hasta 5,36 en el punto M₂ y que después de ahí el valor de pH sigue disminuyendo hasta 5,23 en el punto E₁(entrada al BIORAB-100) y 4,94 en el punto E₂ (salida BIORAB-100), también se observa que la DBO₅ y DQO en el agua tratada (punto E₂) tienen valores más altos que los límites permisibles establecido entre COSAALT y la cervecería ASTRA, por lo tanto los resultado de la eficiencia de remoción no son muy satisfactorio.

Tabla IV-2
Características Físicoquímicas del 30 de Julio 2010

Parámetro Físicoquímico	Unidad	M1	M2	E1	E2	Límite por Convenio COSAALT	Remoción %
Temperatura	°C	24,30	23,50	23,00	19,4	40	
pH		11,47	5,36	5,23	4,94	6a9	
DBO ₅	mg/L	2185,30	1905,40	1830,60	1776,00	250	18,73
DQO	mg/L	3960,00	3651,20	3510,80	2860,00	500	27,77

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Los resultados obtenidos en la tabla IV-3 muestran similar comportamiento que la tabla IV-2, donde se observa de la misma manera el descenso del pH en el punto M₂ y en cada una de las etapas donde tienen pH ácidos.

Los valores de DBO₅, DQO en el punto de salida del agua residual tratada E₂ siguen por encima de los límites permisibles establecidos por el convenio con COSAALT.

Tabla IV-3
Características Físicoquímicas del 11 de Agosto del 2010

Parámetro Físicoquímico	Unidad	M1	M2	E1	E2	Limite por convenio COSAALT	Remoción %
Temperatura	°C	27,10	23,50	21,50	19,20	40	
pH		11,09	5,41	5,16	5,06	6a9	
DBO₅	mg/L	2065,00	2050,00	1958,00	1870,00	250	9,44
DQO	mg/L	3692,16	3247,30	3068,10	2769,12	500	25,00

Fuente: Elaboración propia, 2010.

4.1.3. Conclusión del Diagnóstico

En el diagnóstico desarrollado se observa que las condiciones ambientales como la temperatura y el pH no se encuentran en las condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos anaerobios, el pH uno de los parámetros importantes para el desarrollo y actividad de los microorganismos anaerobios, más aun para las bacterias metanogénicas que son sensibles a los pH ácidos.

Estas condiciones no ayudan en la degradación de la materia orgánica como se puede observar en tablas IV-1, IV-2 y IV-3, la DBO₅ y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales tienen concentraciones elevadas.

4.2. Análisis Crítico de los Procesos Diferenciados

En vista de los resultados obtenidos en el diagnóstico, es necesario realizar un análisis

crítico de todas las unidades que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales. En este punto, el análisis crítico se realiza en base a los resultados del diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales y a las observaciones del proceso de tratamiento, también se identificarán las causas probables que provocan la baja eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería ASTRA.

4.2.1. Proceso de Sedimentación

La etapa del tratamiento primario tiene la función de retener los sólidos por sedimentación, en esta etapa del proceso de sedimentación se ha detectado que la misma no está funcionando eficientemente, ya que se observa una constante resuspensión de los sólidos sedimentados debido al aumento brusco del caudal que ingresa a la planta de tratamiento de las aguas residuales. Este aumento repentino del caudal vuelve a levantar los sólidos depositados en la primera cámara de sedimentación haciendo que las mismas sean suspendidas nuevamente y sean arrastrados hasta la segunda cámara de sedimentación lo que da como resultado que la primera cámara no cumpla con la función de sedimentación y eliminación de sólidos.

La primera cámara de sedimentación tiene en su interior una malla tamiz a media altura esta ayuda a retener los sólidos gruesos de diámetros entre 3-5 mm. Cuando ocurre el aumento del caudal la malla sufre taponamiento por los sólidos haciendo que el nivel del agua aumente y sobrepase la malla.

En el segundo sedimentador ocurre algo similar que en la primera cámara de sedimentación, pues como las aguas contienen elevada concentración de sólidos estos también producen taponamiento en los orificios de los tamices tipo canasto que están

localizados a la entrada provocando de esta manera rebalse en los tamices y turbulencia dentro de la segunda cámara de sedimentación.

Este suceso de alteración que provoca ineficiencia del tratamiento primario es debido a causa del aumento brusco del caudal que solo ocurre de 4 a 6 veces diarias entre mayo y julio que es época baja de producción y de 6-9 veces diarias entre septiembre y abril que es época alta de producción de Cerveza que dura un tiempo de 3 a 7 minutos. El caudal brusco puede llegar hasta 6,8 l/s solo cuando se realiza la limpieza de los recipientes en cocimiento, fermentación y maduración.

En la tabla IV-4 se muestran las velocidades medias de las aguas residuales que ingresan al sedimentador primario.

Tabla IV-4
Velocidades Medias de Ingreso al Sedimentador Primario

Caudal (l/s)	Velocidad Media (m/s)
1,45	0,179
3,41	0,421
6,8	0,839

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.2.2. Proceso de Homogeneización

Se observa que en el tanque de homogeneización que tiene la función de homogeneizar las concentraciones de la carga contaminante y regular el pH aproximadamente a la

neutralidad entre 6 a 8 en unidades de pH, no ocurre porque las aguas residuales que salen del tanque de homogenización tienen pH ácidos, causando ineficiencia en el proceso biológico.

El problema que sucede dentro del tanque de homogenización es la acidificación de las aguas residuales; las aguas residuales que ingresan al tanque homogeneizador tienen pH básico que varía entre 8 a 11, estos son rápidamente acidificados ya que las aguas tratada que sale del tanque de homogeneización presentan pH ácidos que varían entre 4,5-5,5, por lo que estos valores de pH causan inhibición de la fermentación anaerobia.

Se observa también que una de las causas de la acidificación puede ser provocado por los sólidos orgánicos biodegradables que son arrastrados desde la etapa primaria y logran sedimentarse en el tanque de homogenización ocurriendo reacciones de fermentación de los sólidos biodegradables que provoca la acidificación de las aguas residuales, por lo tanto es necesario e importante mejorar la remoción de los sólidos en la etapa primaria.

Para estudiar el efecto que tienen los sólidos en la acidificación de las aguas residuales en el tanque de homogeneización se realiza una prueba a nivel laboratorio, la cual consiste en poner a prueba dos muestras de un litro del afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, la primera muestra agua residuales filtrada donde se eliminan los sólidos, y la segunda muestra agua residual sin filtrar. Las dos muestras se sometieron a prueba a una temperatura a 25 °C en un incubador durante 7 días, cuyos valores de pH que se registraron todos los días se muestra en la tabla V-4.

Tabla IV-5
Registros de pH de las Aguas Residuales del Tanque Homogeneizador

Días	pH	
	Agua sin Sólidos	Agua con Sólidos
0	11,2	11,2
1	8,7	7,8
2	8	6,1
3	7,3	5,3
4	6,1	4,9
5	5,8	4,85
6	5,8	4,8
7	5,6	4,8

Fuente: Elaboración propia, 2010

Los registros de mediciones de pH que se observan en la tabla IV-5 nos muestran el valor inicial del pH en los dos tipos de agua puestas en análisis para observar el comportamiento que ocurre dentro del tanque homogeneizador. A inicio el pH del agua residual tiene carácter básico, durante los tres primeros días las dos muestras en prueba presentaron caídas bruscas de pH y a partir del cuarto día se observa que los pH bajan en menor medida hasta que hay una estabilidad del pH en los dos últimos días en las aguas que contienen sólidos.

Por tanto, se puede afirmar la importancia que tiene mejorar la remoción de los sólidos suspendidos en la etapa de tratamiento primario para que se pueda retener la mayor cantidad de los sólidos que vienen mayormente del proceso de cocimiento. Estos sólidos que llegan a sedimentar en el interior del tanque homogeneizador influyen en el descenso del pH.

Otra de la causa que puede provocar la acidificación es el tiempo de residencia que tienen las aguas residuales en el tanque de homogeneización. Debido a que el proceso de producción no es continuo, un día de producción que dura 12 horas con un caudal promedio de 12,28 m³/h de ingreso al tanque de homogeneización este tiene un tiempo de residencia de 7,18 horas, mientras que durante la noche solo opera el área de cocimiento aportando de manera discontinua el ingreso del agua residual al sistema de tratamiento. Producto de la limpieza del filtro de mosto y el sedimentador Whirpool y generan 1330 l/carga de agua residual en el filtro de mosto, y 452,9 l/carga en el sedimentador Whirpool en intervalos de 4 horas.

La discontinuidad del flujo hace que el agua residual se encuentre retenida 12 horas durante la noche en el tanque de homogeneización, lo que significa mayor actividad fermentativa durante la noche ya que las bacterias fermentativas degradan en principio los carbohidratos materia orgánica que contienen las aguas residuales cerveceras, convirtiendo las mismas en ácidos orgánicos ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, etanol, etc., lo que provoca que el pH disminuya.

A pH ácidos aproximadamente de 4,5 en la cual las bacterias fermentativas son aun activas, esto hace que esta etapa se convierta en un proceso de acidificación.

4.2.2.1. Estequiometría de Reacción de Acidificación de las Aguas Residuales

Las sustancias orgánicas de las aguas residuales de la cervecería ASTRA, se componen principalmente de carbohidratos, proteínas y en menor proporción de grasas, alcohol (etanol), levaduras residuales, etc.

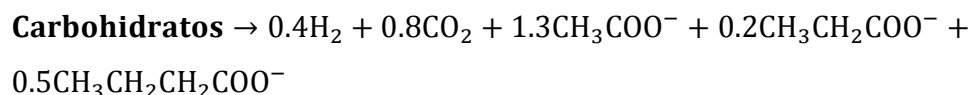
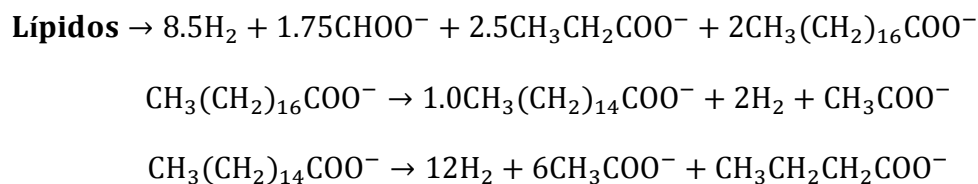
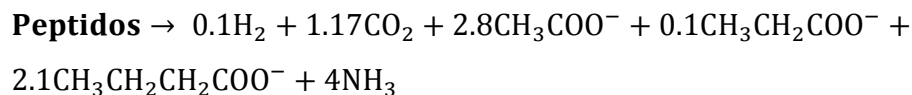
Los carbohidratos se constituyen de celulosa, almidón, maltosa y glucosa, mientras

que los contenidos proteicos son reducidos en polipéptidos y aminoácidos, y las grasas en ácidos grasos y glicerol, liberando también CO_2 y H_2 . Posteriormente estos productos son convertidos en ácidos orgánicos principalmente butírico, propiónico y acético.

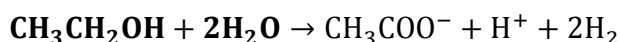
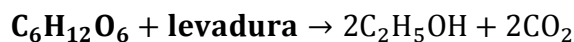
Estos polímeros complejos son hidrolizados en monómeros solubles debido a la acción de las enzimas tales como: las celulasas, amilasas, proteasas, lipasas.

La estequiometría de reacción hidrolíticas y fermentativas que se produce en el tanque de homogeneización son las siguientes (9; 10):

Estequiometría de Reacción Hidrolítica (Salminen *et al.*, 1999; Monroy 1998)



Estequiometría de la Reacción Fermentativa (Salminen *et al.*, 1999; Monroy 1998)



4.2.3. Proceso de Fermentación

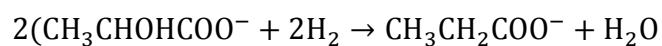
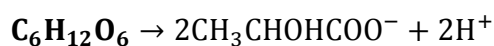
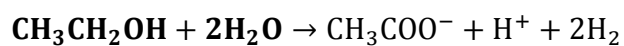
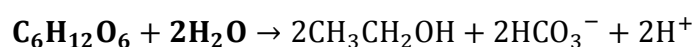
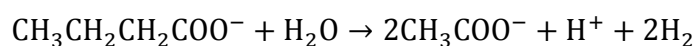
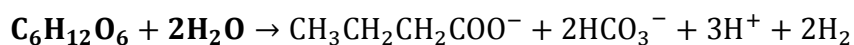
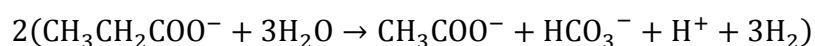
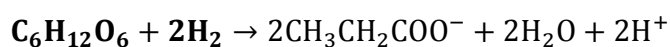
Se observa que en el tanque fermentador existe baja actividad de las bacterias fermentativas debido a que las aguas que ingresan al tanque de fermentación tienen pH ácidos. Esta condición no afecta su funcionamiento, porque durante el proceso de fermentación el pH del agua residual sigue bajando debido a la producción de los ácidos grasos volátiles AGVs.

A este nivel intervienen reacciones que permiten que los productos de la hidrólisis sean fermentados por un grupo complementario de bacterias fermentativas. Por ejemplo: La formación de propionato a partir de succinato o del lactato, la reducción carboxilativa de propionato a butirato, la desmetoxilación, por *Acetobacterium woodii*, de compuestos aromáticos metoxilados (Monroy, 1998) (10).

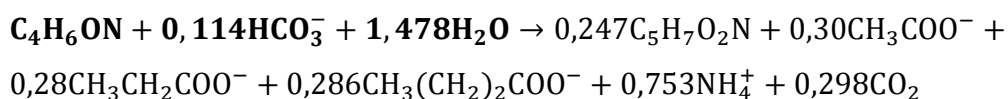
La distancia máxima que debe existir entre las bacterias acetogénicas productoras obligadas de H₂ y las especies oxidantes debe ser de 0.08μm, esto aumenta al máximo el flujo de H₂ y permite compartir entre tres grupos de bacterias la energía

disponible en el acoplamiento de las reacciones acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas (Schink y Thauer, 1988) (10).

Bacterias Fermentativas y Acetogénicas (Salminen *et al.*, 1999; Monroy 1998) (9; 10)



Fermentación de Aminoácidos



4.2.4. Proceso de Degradación Anaerobia

Se observa que en el sistema de degradación biológica BIORAB-100 existe poca actividad metanogénica debido a que las condiciones ambientales no óptimas para las bacterias anaerobias, el pH de las aguas residuales que ingresan al reactor anaerobio BIORAB-100 es de 4,5-5, lo que puede ser señal de que existe acumulación de AGVs.

Aunque el proceso anaerobio consta de cuatro etapas, la más sensible es la metanogénica, en la cual las bacterias consumen los ácidos de cadena corta (acetato). Si la tasa de producción de AGV es mayor que la tasa de consumo por las bacterias metanogénicas ocurre una acumulación de AGV en el reactor que provocaría su acidificación si no hay capacidad buffer suficiente para neutralizarlos, y solo volverá a funcionar adecuadamente con adición externa de alcalinidad (13).

Esto provoca que las bacterias metanogénicas que están encargadas de degradar la materia orgánica y producir metano no trabajen, debido a que las mismas son sensibles a pH ácidos que actúa como inhibidor de la actividad metanogénica.

4.2.5 Prueba de Actividad Metanogénica

La actividad metanogénica específica AME del lodo es la cantidad de sustrato convertido en metano por unidad de lodo, por unidad de tiempo.

Para realizar la prueba de Actividad Metanogénica, se toma una muestra de lodo del tanque de fermentación y dos muestras del BIORAB-100.

4.2.5.1 Prueba de Actividad Metanogénica del Lodo del Tanque de Fermentador

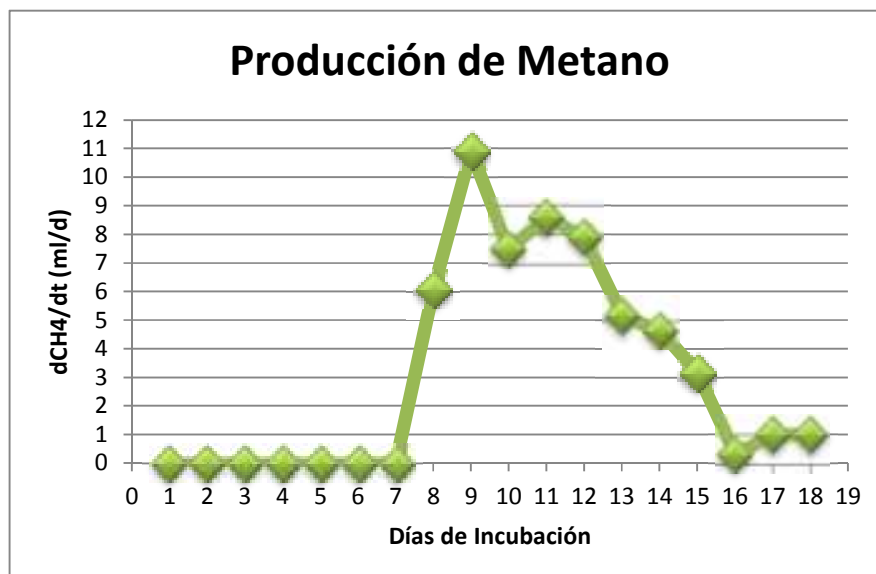
En la Tabla IV-6 se muestran los valores de las características fisicoquímica del lodo anaerobio del Tanque Fermentador.

Tabla IV-6
Características Fisicoquímicas del Lodo Anaerobio del Fermentador

Tipo de Análisis	Simbología	Unidades	Resultados
pH	pH		6,00
Sólidos Totales	ST	g/l	58,00
Humedad	H	g/l	942,00
Sólidos Fijos	SF	g/l	11,84
Sólidos Volátiles	SV	g/l	46,16
Actividad Metanogénica	A.M.	gDQO/gSV.1	0,008

Fuente: Datos de Cervecería ASTRA procesados por APROTEC.

Figura 4-2
Producción de Metano en el Lodo Anaerobio del Tanque Fermentador



El resultado obtenido de la prueba de actividad metanogénica en el lodo del tanque fermentador, se observa que la máxima actividad metanogénica del lodo se obtuvo en el día 9. De acuerdo a los resultados obtenidos se determina que la actividad metanogénica es muy baja con un valor de 0,008 (grDQO/grSV.día) similar a la actividad metanogénica del estiércol porcino fresco de 0,001-0,02 (grDQO/grSV.día) mientras el valor esperado para el lodo debe estar entre 0,4-1,2 (grDQO/grSV.día).

4.2.5.2. Prueba de Actividad Metanogénica del Lodo del BIORAB-100

De igual manera en el BIORAB-100 se realizaron dos pruebas de actividad metanogénica del lodo anaerobio, las muestras a analizar se recogieron de la segunda y octava cámara hidrolizante, que tienen los siguientes resultados.

La tabla IV-7 muestra la características fisicoquímicas del lodos de la segunda cámara hidrolizante del BIORAB-100.

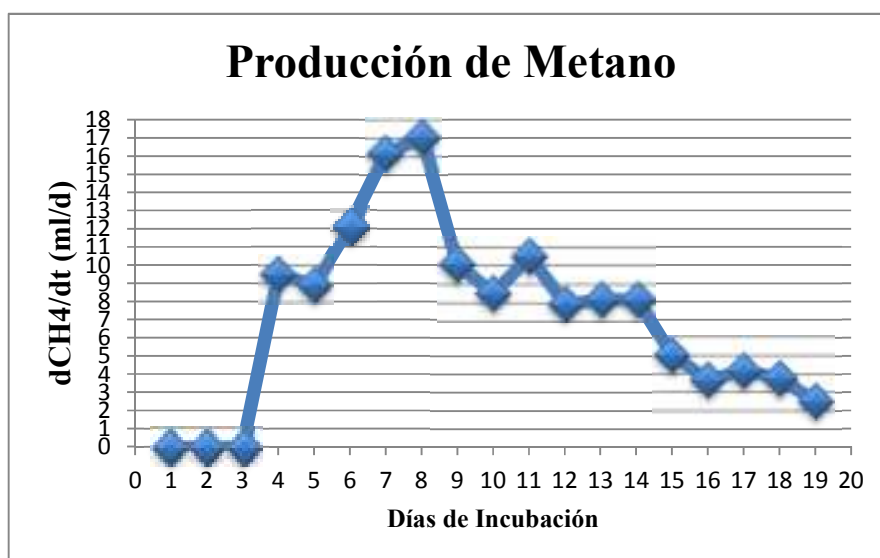
Tabla IV-7
Características Fisicoquímica del Lodo de la Cámara 2 del BIORAB-100

Tipo de Análisis	Simbología	Unidad	Resultados
pH	pH		6,00
Sólidos Totales	ST	g/l	88,00
Humedad	H	g/l	912,00
Sólidos Fijos	SF	g/l	41,31
Sólidos Volátiles	SV	g/l	46,69
Actividad Metanogénica	A.M.	gDQO/gSV.l	0,012

Fuente: Datos de Cervecería ASTRA procesados por APROTEC

En la figura 4-3 se muestra de manera gráfica la producción de metano en la segunda cámara del BIORAB-100.

Figura 4-3
Producción de Metano del Lodo Anaerobio de la Cámara 2 del BIORAB-100



En la tabla IV-8 se muestran las características fisicoquímicas del lodo de la cámara 8 del BIORAB-100.

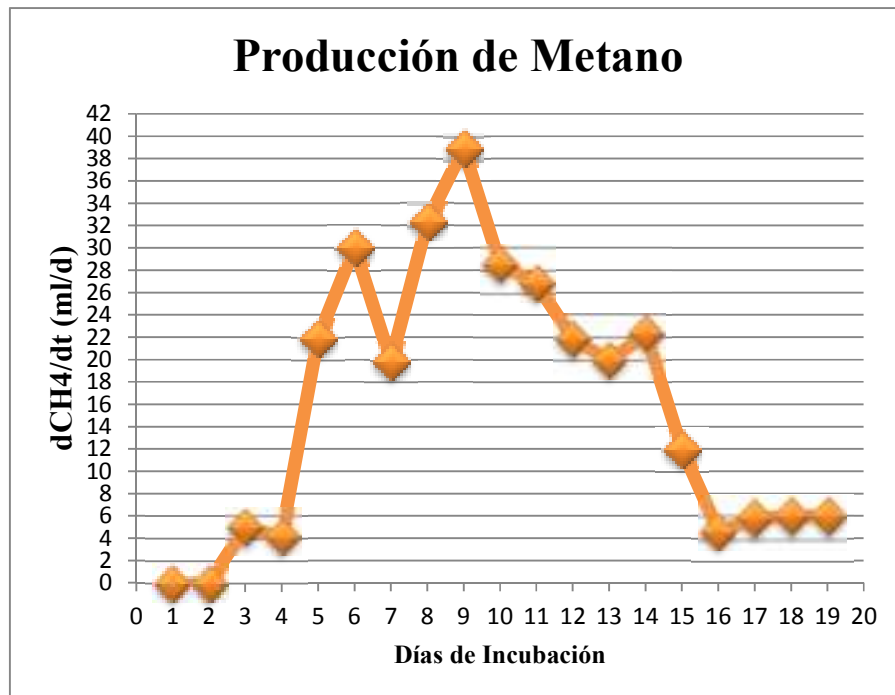
Tabla IV-8
Características Fisicoquímicas del Lodo de la Cámara 8 del BIORAB-100

Tipo de Análisis	Simbología	Unidad	Resultados
pH	pH		6,00
Sólidos Totales	ST	g/l	71,00
Humedad	H	g/l	929,00
Sólidos Fijos	SF	g/l	36,76
Sólidos Volátiles	SV	g/l	34,24
Actividad Metanogénica	A.M.	gDQO/gSV.l	0,027

Fuente: Datos de Cervecería ASTRA procesados por APROTEC.

En la Figura 4-4 se muestra de manera grafica la producción del metano del lodo de la cámara 8 del BIORAB-100.

Figura 4-4
Producción de Metano del Lodo Anaerobio de la Cámara 8 del BIORAB-100



En los resultados obtenidos se observa que existe mayor actividad metanogénica en el lodo de la cámara 8 del BIORAB-100, pero este valor sigue siendo bajo de 0,012 (grDQO/grSV.día) de actividad metanogénica en la cámara 2 y de 0,027 (grDQO/grSV.día) en la cámara 8 del BIORAB-100 similar a la actividad metanogénica del lodo séptico de 0,01-0,07, mientras el valor esperado para este tipo de lodo debe estar entre 0,4-1,5 (grDQO/grSV.día).

Los resultados obtenidos en cada una de las muestras de lodo nos indican una baja actividad metanogénica de los lodos en el Tanque Fermentador y el reactor

BIORAB-100, lo que deriva en una baja eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales para degradar la materia orgánica que contiene las aguas residuales de la cervecería.

4.2.6. Conclusión del Análisis Crítico

En el análisis crítico desarrollado se observa que existen varios factores de operación que ocasionan la ineficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, como la resuspensión de los sólidos en las cámaras de sedimentación, la acidificación de las aguas residuales en el tanque homogeneizador, la operación discontinua que aumenta el tiempo de residencia de la planta de tratamiento de aguas residuales y la baja actividad metanogénica de los lodos anaerobios.

4.3. Acciones Correctivas Ejecutadas en la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales

Debido a que la planta de tratamiento de aguas residuales está trabajando inadecuadamente de acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis desarrollados durante el diagnóstico diferenciado de cada uno de los procesos y a la observación desarrollada en el análisis crítico de los procesos de tratamiento sobre la operación de los mismos, se pretende desarrollar acciones correctivas encaminadas a la mejora de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Las acciones correctivas están enfocadas en mejorar los procesos de tratamiento donde no estén operando adecuadamente; es decir, mejorar la remoción de los sólidos que provoca la acidificación, en la neutralización del pH a la entrada del BIORAB-100.

Para iniciar las acciones correctivas primero se realiza la limpieza de toda la planta de tratamiento de aguas residuales el día 3 de septiembre del 2010, empezando a limpiar los sedimentadores, luego el tanque homogeneizador, el tanque fermentador y por último todas las cámaras del BIORAB-100.

La limpieza de los sedimentadores consiste en retirar los sólidos acumulados en las cámaras de sedimentación en forma manual con unas cucharas perforadas. Durante el proceso de limpieza se observa que hay mayor acumulación de sólidos en la segunda cámara sedimentador, luego de terminar con la limpieza de los sedimentadores se pasa a limpiar el tanque homogeneizador descargando todo el contenido mediante una bomba centrífuga hasta dejar libre de lodo acumulado. De esta manera se realiza la limpieza del tanque fermentador retirando el agua residual y el lodo anaerobio por bombeo, de misma forma se procede a limpiar las cámaras del BIORAB-100 con una bomba de lodos sumergible.

La figura 4-5 muestra la bomba sumergible de lodos utilizado para la limpieza del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería ASTRA.

Figura 4-5
Limpieza del Digestor Anaerobio BIORAB-100



Una vez culminada la limpieza, el día 8 de septiembre de 2010 se inicia el cultivo de los microorganismos anaerobios en el tanque fermentador y en las dos primeras cámaras del reactor BIORAB-100; para ello se agrega 250 kilogramos de estiércol vacuno como inóculo en la primera cámara del tanque fermentador y en las dos primeras cámaras del BIORAB-100. Durante el cultivo de los microorganismos anaerobios se controla el pH diariamente en cada una de las cámaras manteniendo la misma entre 6,5-7,5 y se alimenta diariamente con las aguas residuales del proceso.

Adis Ivonne Terry en su estudio de Selección de un Inóculo para la Biodegradación Anaerobia de la Pulpa de Café, concluye que el Estiércol Vacuno fresco es un inóculo que tiene mejor resultado en la producción de metano, mayor actividad metanogénica y mayor actividad enzimática de la celulasa total (11), por lo que se toma como referencia para el uso de Estiércol vacuno para tratar las aguas residuales de la cervecería ASTRA.

La alimentación de cada una de las cámaras donde se agrego el estiércol vacuno se realiza por bombeo; la alimentación se realiza durante 1 semana observándose bastante actividad por el burbujeo de las aguas residuales que hacía notar la producción de Biogás, a partir de aquí se distribuye el cultivo a las demás cámaras tanto en el tanque fermentador como en el reactor BIORAB-100, donde también se realiza las mediciones de pH y se alimenta de aguas residuales durante 5 días, donde se observa también burbujeo que indica la actividad de los microorganismo anaerobios y el desprendimiento de Biogás.

De esta manera culminada el cultivo de las bacterias anaerobias se da paso al ingreso de las aguas residuales a la planta de tratamiento el día 21 de septiembre del 2010. A partir de aquí se realizan las acciones de mejoramiento de las causas que perjudican el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales descritas en el

análisis crítico de cada uno de los procesos de tratamiento que hacen parte de la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.3.1. Proceso de Sedimentación

En el proceso de sedimentación las acciones realizadas no se enfocó en mejorar el efecto de los cambios repentinos de caudal, ya que para ello se necesita instalar un tanque pulmón que ayude a regular el caudal de entrada a la etapa del tratamiento primario, si no que se realizan limpiezas en los sedimentadores para retirar los sólidos que sedimentaron después de cada lavado del filtro de mosto que es la fuente de los sólidos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales, logrando retirar aproximadamente entre 7-10 Kilogramos de bagazo residual que proviene del área de cocimiento.

La limpieza del sedimentador primario como también del sedimentador secundario se realiza todos los días durante una semana, esto para reducir el ingreso de los sólidos al tanque homogeneizador.

4.3.2. Proceso de Homogeneización

En el proceso de homogeneización se realizan mediciones de control del pH del agua residual de salida del tanque de homogeneización. Esto para verificar si la disminución del ingreso de los sólidos al tanque de homogeneización permite mantener un pH neutro.

Se observa que el pH dentro del tanque de homogeneización desciende lentamente, es

así que en el segundo día de estudio el pH en el tanque de homogeneización desciende de 9,5 hasta 6,5 y de esta manera el pH sigue descendiendo hasta 4,9 en el cuarto día de prueba. Para mejorar el valor de pH se utiliza la bomba de recirculación en intervalos de 2 horas de operación, esto ayuda a mezclar el agua residual en el tanque de homogeneización, esto nos permite obtener un valor promedio de pH de 5,4.

4.3.3. Proceso de Fermentación

En el proceso de fermentación se realizan mediciones de control de pH en el agua residual de salida del tanque de fermentación, donde se observa que el pH varía entre 4,5 a 5,2. Como el agua residual de salida del tanque fermentador ingresa con estas condiciones al digester BIORAB-100 donde se produce la metanogénesis de la materia orgánica, este debe tener pH neutro para que la bacteria metanogénica convierta la materia orgánica en metano

Por lo tanto se realiza acciones correctivas para neutralizar el agua residual de salida, por lo que se agrego soda caustica al 0,32 % peso/peso en la última cámara del tanque fermentador, esto nos permite mantener el pH entre 6 a 7,5 de ingreso al BIORAB-100.

4.3.4. Proceso de Digestión Anaerobia BIORAB-100

En el proceso de digestión anaerobia se realizan acciones que ayuden a desarrollar y activar las bacterias acetogénicas y metanogénicas, se observa que a los cuatro días de ingreso de las aguas residuales a la planta de tratamiento no hay mejoría ya que la carga orgánica del agua residual de salida del BIORAB-100 seguía siendo elevada

donde la DQO es de 1620 mg/l. Por lo que se corto el paso del agua residual industrial a la planta de tratamiento para aumentar el tiempo de retención del agua residual en el BIORAB-100, para que las bacterias metanogénicas se estabilicen y desarrollen. Es así que después de 24 horas de retención se toma una muestra del agua tratada de la última cámara del BIORAB-100 donde se determina que la DQO baja a 1165 mg/l.

Con este resultado se dio paso al ingreso del agua residual industrial a la planta de tratamiento, teniendo en cuenta el pH de ingreso del agua residual de ingreso al BIORAB-100, con estas acciones correctivas realizadas se analiza una última muestra el 30 de septiembre donde se obtuvo el resultado más bajo de carga orgánica del agua tratada tomada a la salida del BIORAB-100 tal como se muestra en la tabla V-8.

Los resultados obtenidos en la tabla IV-9 se determinan en una muestra compuesta que se recoge en cada uno de los puntos de muestreos el día 30 de septiembre del 2010. Los resultados nos muestran una mejoría notable ya que se tiene una eficiencia de 69,60% en la remoción de la DQO y un 60,90% de remoción de la DBO₅. Este resultado no es suficiente ya que los valores de carga orgánica en el agua tratada de salida de la planta de tratamiento están fuera de los parámetros permisibles establecidos por COSAALT.

Tabla IV-9
Características Físicoquímicas de las Aguas Residuales en cada uno de los
Procesos

Parámetros Físicoquímicas	Unidad	M1	M2	E1	E2	Limite por Convenio COSAALT	Remoción %
Temperatura	°C	25,70	24,60	24,40	23,60	40	
pH		8,70	5,86	5,22	6,38	6a9	
DBO₅	mg/L	1765,00	1540,00	1270,00	690,00	250	60,90
DQO	mg/L	3310,40	2813,84	2758,70	1005,80	500	69,60

Fuente: Elaboración propia, 2010

Dejando de lado la limpieza diaria del sedimentador primario y la regulación de pH en el proceso de degradación, los valores de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y la Demanda Química de Oxígeno DQO en el agua residual tratada que sale del reactor BIORAB-100 ha ido ascendiendo gradualmente y los valores de pH en cada uno de los procesos disminuye hasta valores ácidos, la cual provoca la disminución de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales como se observa en la tabla IV-9.

Los resultados obtenidos que se muestran en la tabla IV-10 corresponden a muestras puntuales analizados el 12 de octubre de 2010, que muestran la acidificación del agua residual en el tanque homogeneizador, que provoca también la acidificación de los demás procesos de tratamiento, y la disminución de la actividad anaerobia.

Tabla IV-10
Característica Físicoquímica de las Aguas Residuales en cada uno de los
Procesos

Parámetros Físicoquímicas	Unidad	M1	M2	E1	E2	Limite por convenio COSAALT	Remoción %
Temperatura	°C	26,80	26,20	27,70	27,00	40	
pH		9,18	4,97	5,11	4,90	6a9	
DBO ₅	mg/l	1250	1165,00	1129,00	1080,00	250	13,60
DQO	mg/l	2087,6	2125,00	2158,60	1931,00	500	7,50

Fuente: Elaboración propia, 2010

4.3.5. Conclusión de las Acciones de Correctivas

En las acciones de mejoras desarrolladas, en la que se elimina el ingreso de los sólidos orgánicos al tanque homogeneizador permite que el pH se mantenga en promedio de 5,4, la neutralización del pH en el agua de residual de ingreso al BIORAB-100 que se mantiene entre 6-7,5, ayudaron a mejorar la remoción de la materia orgánica que se muestra en la tabla IV-8, logrando reducir un 60,9 % de la DBO₅ y un 69,6 % de la DQO.

Por lo tanto el estudio desarrollado del sistema de tratamiento de aguas residuales, se puede concluirse que el sistema necesita de la instalación de equipos que permitan mejorar la remoción de sólidos orgánicos, también que permita amortiguar las subidas de caudal a la entrada del sistema de tratamiento y alimentar de manera continua a la planta de tratamiento; y de un equipo que ayude a neutralizar el pH a la entrada del BIORAB-100.

5.1. Alternativas de Solución

Las alternativas de solución están enfocadas a mejorar los parámetros de operación que están causando problemas en la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR. Como se identificó que la resuspensión de los sólidos en la primera cámara de sedimentación es causada por el aumento repentino, por lo que es necesario la construcción de un tanque pulmón de agua residual que ayude amortiguar las sobre cargas del caudal y mejorar la retención de los sólidos.

La acidificación del agua residual que ocurre en el tanque de homogenización afecta también a los procesos de tratamientos siguientes, tanque fermentador y en el reactor BIORAB-100, por lo que es necesario neutralizar el agua residual de ingreso al reactor BIORAB-100 para ello se necesita de un tanque de hidróxido de sodio NaOH.

En definitiva con estas dos alternativas se pretende mejorar las condiciones ambientales donde se desarrollan las bacterias anaerobias, para ayudar a maximizar la degradación de la materia orgánica.

5.1.1. Tanque Pulmón de Aguas Residuales

El Tanque Pulmón tiene la finalidad de amortiguar las sobrecargas de caudal que ingresan a la planta de tratamiento que ocasionan la resuspensión de los sólidos en los sedimentadores, mantener una alimentación continua del aguas residuales a la planta de tratamiento mediante bombeo, y también retener los sólidos sedimentables, con el fin de mejorar la remoción de los sólidos en la etapa de sedimentación.

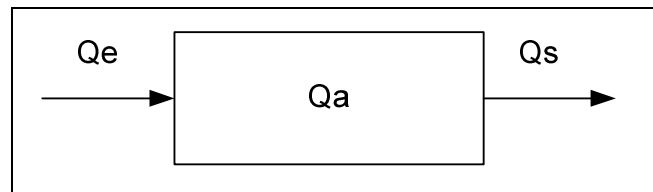
5.1.1.1. Determinación de Volumen del Tanque Pulmón

La determinación del volumen del tanque pulmón se desarrolla de acuerdo al balance de flujo volumétrico que se detalla a continuación.

5.1.1.1.1. Balance del Flujo Volumétrico en el Tanque Pulmón

El balance del flujo volumétrico se muestra en el siguiente diagrama.

Figura 5-1
Corrientes de Flujo Volumétrico en el Tanque Pulmón



Fuente: Elaboración propia, 2011.

Entrada – salida = Acumulación

$$Q_e - Q_s = Q_a \quad (\text{ec. 1})$$

En el balance del flujo volumétrico se toma en cuenta el flujo de las Aguas Residuales generadas en la Planta de Producción de cerveza durante un tiempo de 24 horas y el flujo generado en 12 horas que es el periodo donde se generan la mayor cantidad de aguas residuales que aporta a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla V-1
Parámetros Utilizados para Calcular el Volumen del Tanque Pulmón

Parámetro	Tiempo (h)	Q(m ³ /día)
Flujo de entrada 1	24	152,71
Flujo de entrada 2	12	147,36

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Con estas dos consideraciones del flujo de ingreso al tanque pulmón que se muestra en la tabla V-1, se determina el volumen del agua residual de entrada y salida del tanque pulmón por hora.

Para determinar el caudal de entrada Q_e se considera el volumen generado en 12 horas que es el tiempo que dura la producción, la cual se determina con la ecuación 2.

Para determinar caudal de salida del tanque pulmón Q_s se considera el volumen generado en un periodo 24 horas, para un proceso de tratamiento continuo, la cual se determina con la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (ec. 2)$$

En la tabla V-2 se muestran los valores de los caudales donde Q_e es el caudal de ingreso y Q_s es el caudal de salida del tanque o el caudal de alimentación al sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla V-2
Valor de los Flujos del Tanque Pulmón

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de entrada	m ³ /h	12,28
Caudal de salida	m ³ /h	6,36

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Reemplazando los valores de los flujos que se muestra en la tabla V-2 en la ecuación 1, se obtiene el valor del caudal acumulado Q_a .

$$Q_a = (12,28 - 6,36)[\text{m}^3/\text{h}]$$

$$Q_a = 5,92[\text{m}^3/\text{h}]$$

El caudal acumulado Q_a representa el volumen de Aguas Residuales acumulado en una hora, por lo tanto el volumen acumulado en un día de producción de 12 horas donde se genera la mayor cantidad de agua residual se determina de la siguiente forma.

Con el caudal acumulado Q_a , determinamos el V_a en un periodo de producción de 12 horas despejando el Volumen acumulado V_a de la ecuación 2.

$$V_a = Q_a \times t_p$$

$$V_a = 5,92 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \times 12 \text{ h}$$

$$V_a = 71,04 [\text{m}^3]$$

El volumen acumulado (V_a) de $71,04 \text{ m}^3$ determinado representa el volumen requerido del tanque pulmón para almacenar el agua residual en el periodo de producción y garantice la alimentación continua al sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la tabla V-3 se indican los resultados del Balance de flujo volumétrico.

Tabla V-3
Resultado del Balance del Flujo Volumétrico

Flujo	Unidad	Símbolo	Valor
Afluente	$\text{m}^3/\text{día}$	Q_e	147,36
Efluente	$\text{m}^3/\text{día}$	Q_s	76,32
Acumulado	$\text{m}^3/\text{día}$	Q_a	71,04

Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.1.1.2. Dimensiones del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

Para determinar las dimensiones se aplicó un factor de seguridad del 20%, considerando la acumulación de los sólidos y el aumento del nivel del agua residual, por lo que el volumen real del tanque pulmón es de 85 m^3 .

5.1.1.2.1. Ecuaciones para el Diseño del Tanque Pulmón

Conociendo el volumen real del tanque pulmón, se determina el área superficial del tanque pulmón, y también se determina la altura del Tanque Pulmón con las

siguientes ecuaciones.

5.1.1.2.1.1. Cálculo del Área Superficial

Para determinar el área del tanque pulmón se considero una longitud (L) de 6 m. y el ancho (W) de 4,5 m.

$$A_S = L_{TP} \times W_{TP} \quad (ec. 3)$$

5.1.1.2.1.2. Cálculo de la Altura del Tanque Pulmón

La altura del tanque se determina a partir de la ecuación de Volumen de un tanque rectangular, donde despejando la altura en la ecuación 4, y reemplazando el valor del volumen real y el área del tanque pulmón, se obtiene el siguiente valor.

$$V_{TP} = A_S \times H_{TP} \quad (ec. 4)$$

$$H_{TP} = \frac{V_{TP}}{A_S}$$

La tabla V-4 muestra los valores de la dimensión del Tanque pulmón

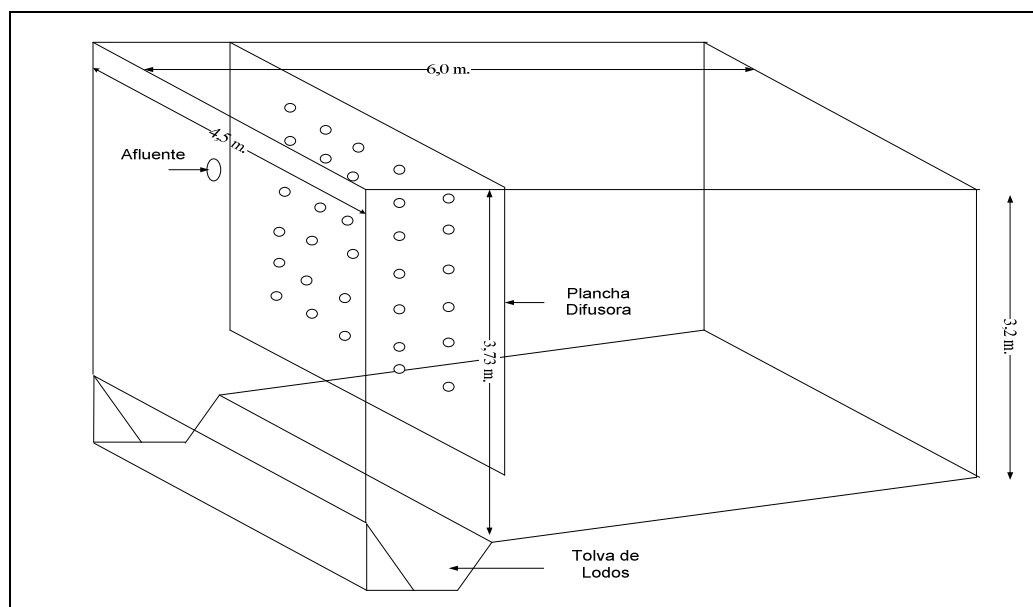
Tabla V-4
Dimensionamiento del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

Dimensión	Unidad	Símbolo	Valor
Volumen	m ³	V _{TP}	85,0
Longitud	m	L _{TP}	6,0
Ancho	m	W _{TP}	4,5
Alto	m	H _{TP}	3,2

Fuente: Elaboración propia, 2011.

La figura 5-2 indica las dimensiones reales del Tanque Pulmón.

Figura 5-2
Dimensiones del Tanque Pulmón de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración propia, 2011.

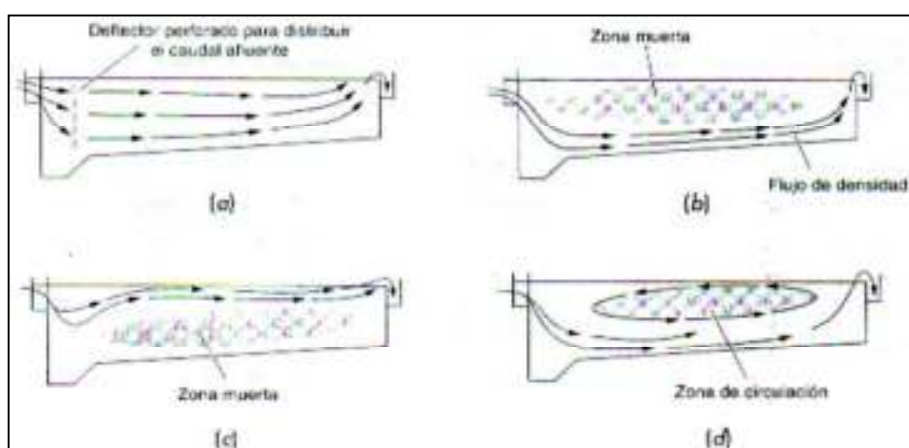
5.1.1.2.2. Zona de Entrada del Tanque Pulmón

Como se observa en la figura 5-2 el tanque pulmón tiene puntos muertos; porque no tiene una distribución equitativa del caudal dentro de la unidad. Para reducir las zonas muertas en el tanque pulmón, se considera instalar una pantalla difusora como tienen los sedimentadores rectangulares como se muestra en la figura 5-4.

La pantalla perforada tiene la función de distribuir uniformemente las líneas de flujo, por lo cual se debe diseñar el máximo de orificios hasta donde la estructura del tanque pulmón lo permita.

En la figura 5-3 se muestran 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 Rectangulares



Fuente: Tamizado y Sedimentación, 2005 (16).

5.1.1.2.2.1. Criterios de Diseño de la Pantalla Difusora

Los criterios de diseño que se deben considerar son los siguientes:

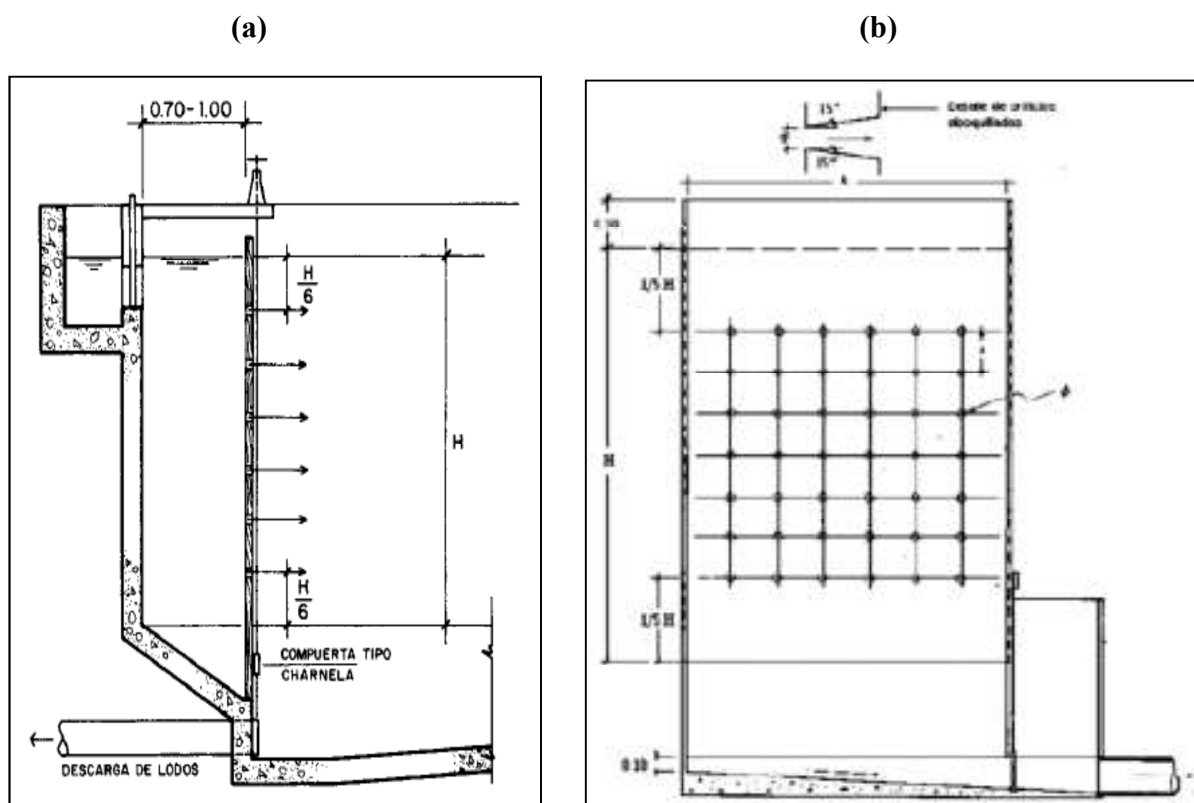
- La distribución uniforme de las líneas de flujo en toda la sección transversal del decantador, se consigue mediante una pared de concreto, provistas de orificios (figura 5-4).
- Los orificios deben aboquillarse en un Angulo de 15° en el sentido del flujo (20).
- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a $1/5$ o $1/6$ de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre $1/5$ o $1/6$ de la altura (H) a partir de la superficie del fondo (20).
- Se diseña el máximo de orificios constructivamente posibles para evitar que la pantalla produzca espacios muertos.
- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a $0,15$ m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación (20).
- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre $7,0$ a $1,0$ m de distancia de la pared de entrada (20).

5.1.1.2.2. Diseño de la Pantalla Difusora

Para el diseño de la pantalla Difusora del tanque pulmón se realiza de la misma manera que para el de un tanque de sedimentación como se describe en el cálculo de sedimentadores (20).

En la figura 5-4 se muestran las características de la Pantalla Difusora en un Sedimentador; (a) corte longitudinal de un sedimentador y (b) distribución de los orificios.

Figura 5-4
Características de la Pantalla Difusora en un Sedimentador



Fuente: CEPIS/OPS, 2005.

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

- Determinamos el área total de los orificios con la siguiente ecuación (20):

$$A_0 = \frac{Q_e}{V_0} \quad ec.5$$

- Se adopta un diámetro de orificio de $d_0 = 0,025$ m y se determina el área de orificio a_0 , y el numero de orificios de la siguiente manera (20).

$$a_0 = \pi \times r_0^2 \quad ec.6$$

$$n = \frac{A_0}{a_0} \quad ec.7$$

- Se determina la altura de la pantalla difusora con orificios con la siguiente ecuación (20).

$$h = H - \frac{2}{5} \cdot H \quad ec.8$$

- Se define el número de filas nf y el número de columnas nc , y se determina el espaciamiento entre filas a_1 y el espaciamiento entre columnas a_2 con la siguiente relación (20).

$$a_1 = \frac{h}{nf} \quad ec.9$$

$$a_2 = \frac{B - a_1(nc - 1)}{2} \quad \text{ec. 10}$$

En la tabla V-5 se muestran los valores de los parámetros de diseño de la plancha difusora de flujo, obtenidas por las ecuaciones descritas anteriormente.

Tabla V-5
Parámetros de Diseño de la Pantalla Difusora

Parámetros	Unidad	Valor
Q	m ³ /s	3,411.E ⁻³
V₀	m/s	0,1
A₀	m ²	3,411.E ⁻²
d₀	m	0,025
a₀	m ²	5.E ⁻⁴
N		70
H	m	2
Nf		7
Nc		10
a₁	m	0,286
a₂	m	0,963

Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.1.1.2.3. Zona de Recolección de Lodo del Tanque Pulmón

La zona de recolección de lodo está constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación

periódica.

El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

Con estas consideraciones el tanque pulmón presenta una altura máxima, que se determina de la siguiente manera:

- Se determina la longitud de sedimentación con la siguiente ecuación (20):

$$L_s = L_{TP} - d_{pd} \quad ec. 11$$

- Se determina la altura máxima con la ecuación 12, donde se considera una pendiente del 10% del fondo del tanque pulmón (20).

$$H_m = H_{TP} + 0,1L_s \quad ec. 12$$

En la tabla V-6 se muestran los valores de las dimensiones de la zona de recolección de lodos.

Tabla V- 6
Parámetros de la Zona de recolección de Lodos

Parámetros	Unidad	Valor
L_s	m	5,3
H_m	m	3,73

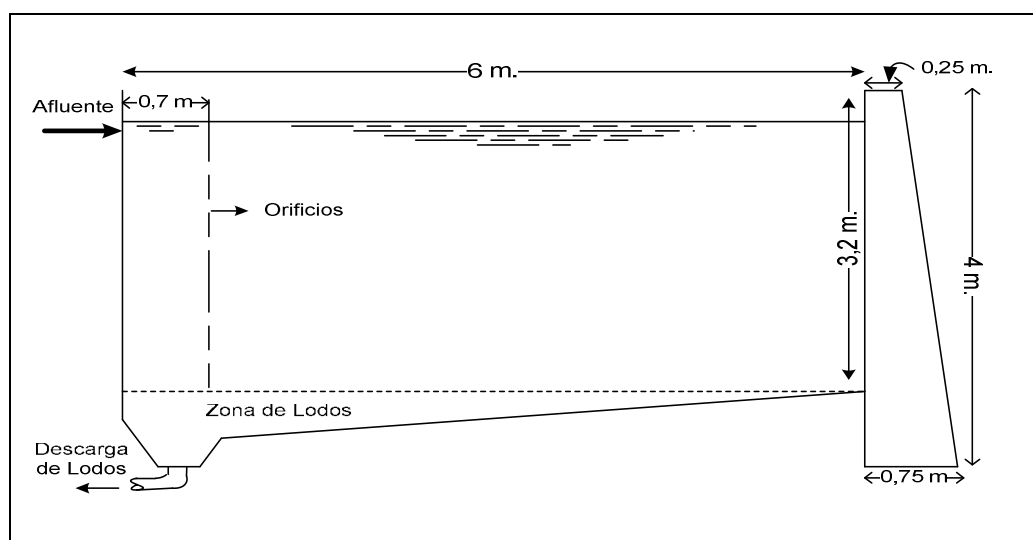
Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.1.1.2.4. Construcción del Tanque Pulmón

Debido a que el tanque pulmón retiene un gran volumen de agua residual, las paredes deben ser de muro de gravedad construidos por concreto ciclópeo.

La figura 5-5 muestra la estructura físicas y la dimensiones de diseño del tanque pulmón.

Figura 5-5
Estructura Física del Tanque Pulmón de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración propia, 2011.

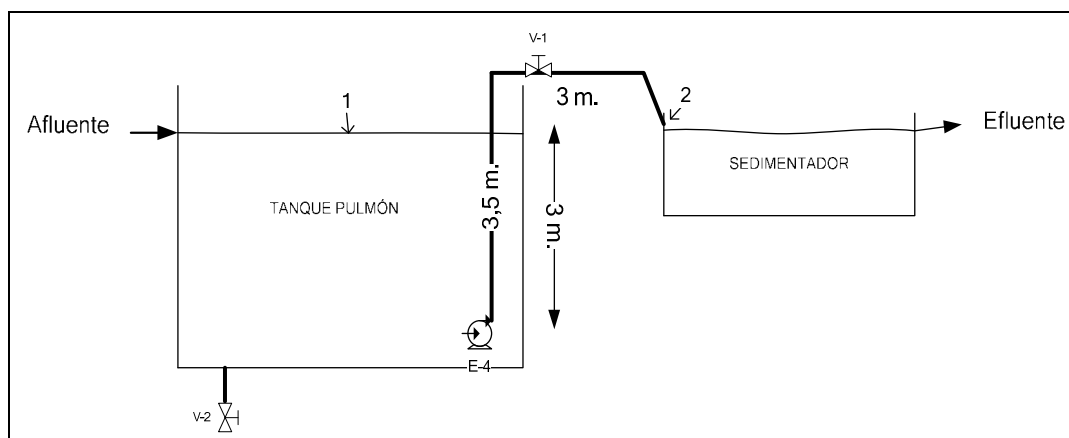
El muro de gravedad depende principalmente de su peso propio para asegurar la estabilidad, las dimensiones de la misma dependen del empuje del agua sobre la estructura; son muros muy económicos para alturas bajas hasta 3,50 metros aproximadamente (21).

El concreto ciclópeo es una mezcla de concreto con cantos o bloques de roca dura. Generalmente, se utilizan mezclas de 60% de concreto y 40% de volumen de piedra. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que a mayor cantidad de piedra existe mayor posibilidad de agrietamiento del muro, por presencia de zonas de debilidad estructural interna. En ocasiones se le colocan refuerzos de varilla de acero dentro del concreto ciclópeo para mejorar su resistencia interna (24).

5.1.1.3. Diseño de Bomba para Aguas Residuales

Para la selección de una Bomba se desarrolla un diagrama de flujo del sistema del Tanque Pulmón que representa las dimensiones de la unidad y de las tuberías, para que permita realizar el balance de energía mecánica en la ecuación de Bernoulli.

Figura 5-6
Diagrama de Flujo del Tanque Pulmón de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.1.1.3.1. Ecuaciones para el Diseño de Bomba

5.1.1.3.1.1. Trabajo de Bomba en la ecuación de Bernoulli

El balance de energía o ecuación de Bernoulli representa la energía de presión, energía potencial, energía cinética, energía de bomba, energía por fricción, donde estos términos están expresados en Joules, el cual se representa en la siguiente ecuación (22).

$$\frac{m}{\rho}P_1 + mgZ_1 + m\frac{(V_1)^2}{2} + mW_s = \frac{m}{\rho}P_2 + mgZ_2 + m\frac{(V_2)^2}{2} + mF \quad (ec. 13)$$

Dividiendo cada término por masa (m) y gravedad (g), tenemos la expresión en altura manométrica (22).

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} + h_s = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + \frac{(V_2)^2}{2g} + h_f \quad (ec. 14)$$

Para realizar el balance de energía se deben considerar diversos parámetros relacionados con las características del flujo, estos parámetros se describen a continuación:

5.1.1.3.1.2. Número de Reynolds

El número de Reynolds describe las características del flujo (laminar, transición o turbulento), este número se obtiene de la siguiente ecuación (3).

$$Re = \frac{\rho_{ar} \cdot V_m \cdot D_t}{\mu} \quad (ec. 15)$$

5.1.1.3.1.3. Factor de Rozamiento (f)

Para determinar el factor de rozamiento (f), se debe considerar la rugosidad relativa (ϵ/D), además del valor del número de Reynolds, con estos parámetros se puede obtener el factor de rozamiento a través del diagrama de moody que se indican en la figura 1-4 del Ocon-Tojo (3).

5.1.1.3.1.4. Longitud equivalente Total

Se refiere a la pérdida por fricción para una tubería a lo largo de su longitud, considerando también las pérdidas por fricción de los accesorios que tiene la tubería. Las pérdidas por fricción se pueden determinar haciendo uso de la gráfica indicada en la figura 1-2 del Ocon-Tojo (3).

$$L_E = L_{et} + L_{e,a} \quad (\text{ec. 16})$$

5.1.1.3.1.5. Pérdidas por Fricción (h_f)

La pérdida por fricción representa la energía convertida por efectos friccionantes de mecánica en térmica. La pérdida de carga es independiente de la orientación de la tubería. Las pérdida por fricción se calcula de la siguiente forma (3).

$$h_f = f \frac{L_E \cdot (V_m)^2}{2 \cdot D_t \cdot g} \quad (\text{ec. 17})$$

5.1.1.3.2. Cálculo de la Potencia de la Bomba

Se utiliza una bomba en un sistema de flujo para aumentar la energía mecánica del fluido en movimiento.

En la tabla V-7 muestra los parámetros necesarios para determinar la potencia de la bomba.

Tabla V-7
Parámetros Utilizados para Determinar la Potencia de la Bomba

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /h	6,36
D, tubería	m	0,0779
L, tubería	m	6,5
μ	Kg/m-s	1,05E-3
ρ	Kg/m ³	1015
g	m/s ²	9,81
V	m/s	0,37
Re		3,66E+4
ε/D		0,0006
f		0,024
h_f	m	0,173
ΔZ	m	3
h_s	m	3,17

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Suponiendo que la P1 y P2 presentan presiones iguales y que la velocidad en el punto 1 es despreciable debido a que el área del tanque es mucho mayor que el de la tubería.

De acuerdo a lo anterior y suponiendo una eficiencia del 60% de la bomba, la potencia de la misma es igual a 0,124 C.V.

5.1.2. Tanque Pulmón para Hidróxido de Sodio NaOH

La acidificación del agua residual es parte del proceso de fermentación anaerobia debido a la producción de los ácido grasos volátiles el pH en este proceso desciende entre 4,5- 5,0 con el cual ingresa a la etapa metanogénica, la que requiere pH neutro para producir la metanogénesis de la materia orgánica.

Para cumplir con estas condiciones es necesario neutralizar el agua residual de pH ácido que sale del tanque fermentador con hidróxido de sodio para así ingresar al reactor BIORAB-100 y producir la metanogénesis.

En la tabla V-8 se muestran los valores de las concentraciones del NaOH que se encuentran disponible en la Cervecería ASTRA.

Tabla V-8
Concentración y Molar de las Soluciones de Hidróxido de Sodio

Concentración NaOH % peso/peso	Densidad de las soluciones de NaOH (g/ml)	Concentración de NaOH M
1,850	1,023	0,473
1,510	1,020	0,385
1,130	1,017	0,287
0,840	1,013	0,213
0,320	1,010	0,081

Fuente: Elaboración propia, 2010.

En nuestro estudio la neutralización del agua residual desarrollado anteriormente con Hidróxido de Sodio 0,32 % peso/peso, para este efecto de neutralización se agregó al sistema de tratamiento de aguas residuales aproximadamente 2,10 m³ de hidróxido de sodio para un volumen de 86,30 m³ de aguas residuales.

5.1.2.1. Diseño del Tanque de Almacenamiento de NaOH

El tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio es un recipiente cilíndrico de acero inoxidable, que tiene la finalidad de dosificar NaOH de manera continúa para neutralizar el agua residual de ingreso al BIORAB-100.

5.1.2.1.1. Determinación del Volumen del Tanque de NaOH

Para determinar el volumen del tanque se calcula el volumen de NaOH necesario para

neutralizar el volumen de agua residual que es de 152,71 m³ generada en 24 horas.

$$\frac{V_{\text{NaOH } 2}}{V_{\text{AR } 2}} = \frac{V_{\text{NaOH } 1}}{V_{\text{AR } 1}} \quad (\text{ec. 18})$$

$$V_{\text{NaOH } 2} = \frac{V_{\text{NaOH } 1}}{V_{\text{AR } 1}} \times V_{\text{NaOH } 2}$$

$$V_{\text{NaOH } 2} = \frac{2,10 [\text{m}^3]}{86,30 [\text{m}^3]} \times 152,71 [\text{m}^3]$$

$$V_{\text{NaOH } 2} = 3,72 [\text{m}^3]$$

5.1.2.1.2. Dimensión del Tanque de NaOH

Las dimensiones del tanque de hidróxido de Sodio NaOH se determina a partir de la siguiente ecuación.

$$V_{\text{TH}} = \pi \times R_{\text{TH}}^2 \times H_{\text{TH}} \quad (\text{ec. 19})$$

Despejando la altura, y dado un radio de 0,65m.

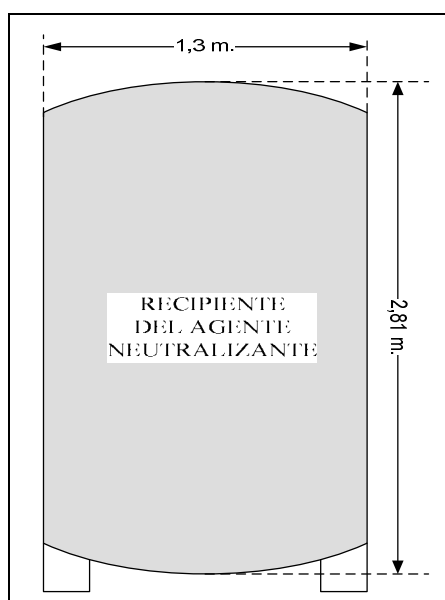
$$H_{\text{TH}} = \frac{V_{\text{TH}}}{\pi \times R_{\text{TH}}^2}$$

$$H_{\text{TH}} = 2,81 [\text{m}]$$

En la figura 5-7 se muestran las dimensiones del tanque de NaOH, con lo que se

garantiza el almacenamiento del agente neutralizante.

Figura 5-7
Dimensiones del Tanque Pulmón de NaOH



Fuente: Elaboración propia, 2011.

El área total del Tanque Pulmón de NaOH se determina con la siguiente ecuación.

$$\text{Área} = \text{Área de cilindro} + \text{Área de Circulo}$$

$$A_{TH} = (2\pi \times R \times H) + 2(\pi \times R^2) \quad \text{ec. 20}$$

$$A_{TH} = 14,14 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{TH} \cong 15 \text{ [m}^2\text{]}$$

La tabla V-9 muestra los valores de los parámetros de diseño del tanque pulmon de hidróxido de sodio NaOH.

Tabla V-9
Dimensiones del Tanque Pulmón de NaOH

Parámetro	Unidad	Valor
V_{TH}	m ³	3,72
A_{TH}	m ²	15
R_{TH}	m	0,65
H_{TH}	m	2,81

Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.1.2.2. Sistema de Control de pH

El pH en un sistema de tratamiento biológico anaerobio es de alta importancia. Es por ello que es necesario tener un sistema de control de pH.

El proceso de neutralización del sistema anaerobio no solo necesita de medición continua de pH, sino de un sistema automático eficiente de control de pH del afluente de ingreso al digestor anaerobio BIORAB-100.

El sistema de neutralización del agua residual debe tener un medidor de pH de línea, un dosificador del agente neutralizante del agua residual, un medidor de flujo del agua residual de ingreso al BIORAB-100.

5.1.3. Balance de Materia del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA

Para los balances se conoce que el flujo volumétrico es igual a 152,71 m³/día y su densidad de 1012 Kg/m³.

En la tabla V-10 se muestran los parámetros para el balance de masa en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

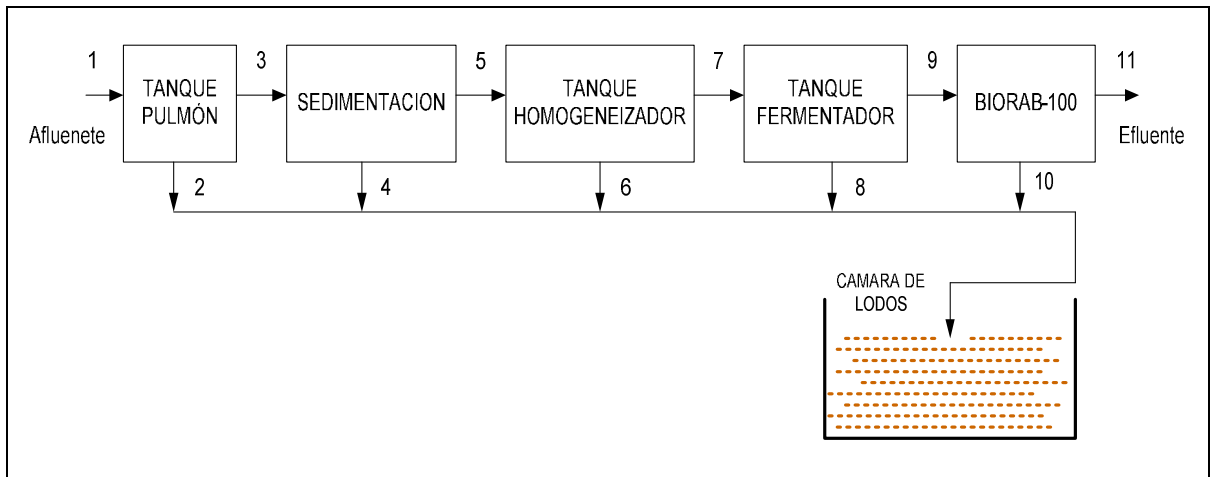
Tabla V-10
Parámetros para el balance de masa en el sistema de Tratamiento

Parámetro	Unidad	Símbolo	Valor
Sólidos Totales	Kg/día	[S.T.]	291,516
Remoción de los S.T.	%	S.T.	87,2
Demanda biológica de Oxígeno	Kg/día	[DBO ₅]	263,909
Remoción de DBO ₅	%	DBO ₅	88,5

Fuente: Elaboración propia, 2011.

En la figura 5-8 se muestra las corrientes de flujo del nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

Figura 5-8
Diagrama de Flujo del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración propia, 2011.

La tabla V-11 muestra los resultados del Balance del Flujo másico del sistema de tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA.

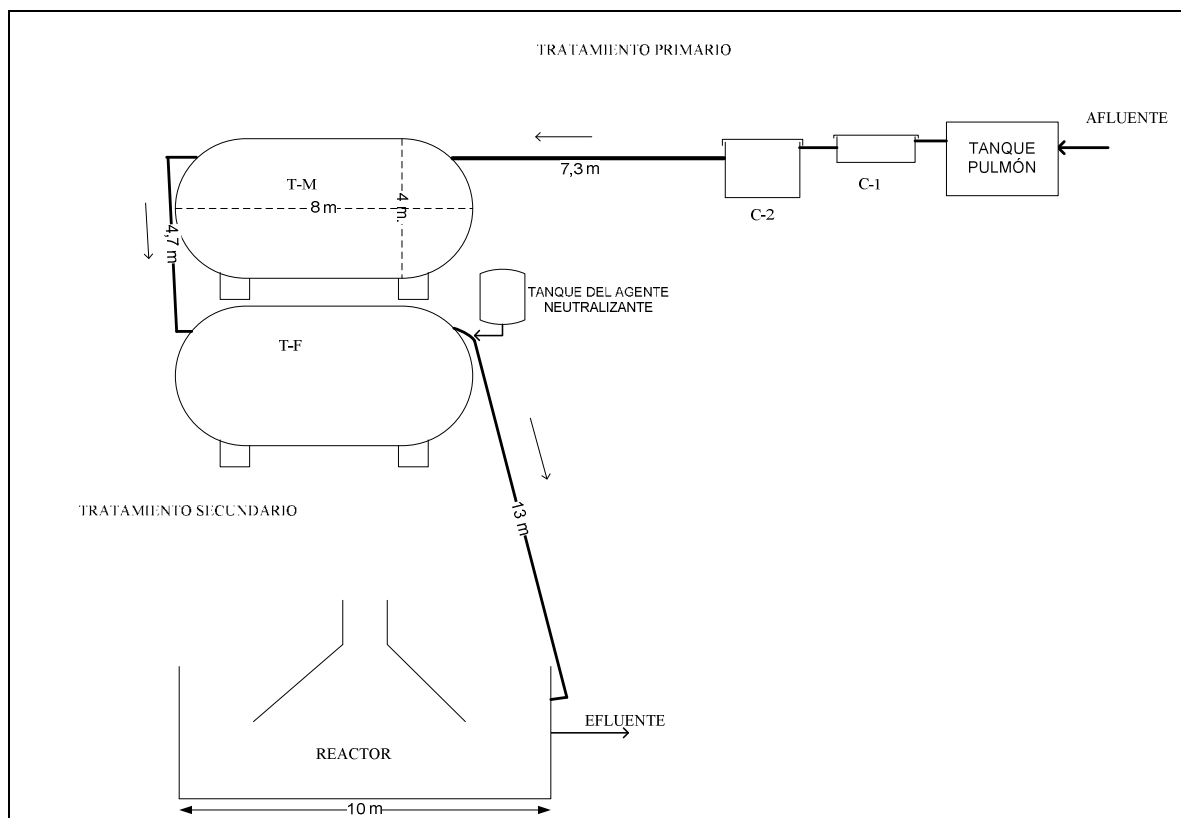
Tabla V-11
Resultados de los Balances del flujo Másico en el Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería
ASTRA

Parámetros	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Agua Residual	Kg/día	154542,52										
Temperatura	°C	29,17	29	29	28,9	28,9	291	29,1	28,8	28,8	27,5	26,13
pH		9,5	8,26	9,12	8,15	9	5,2	5,6	5,16	7,2	5,4	6,7
Sólidos Totales	Kg/día	291,516	87,455	204,061	61,218	142,843	92,848	49,995	5,999	43,996	6,599	37,397
DBO ₅	Kg/día	263,909	65,977	197,932	29,690	168,242	33,648	134,594	33,648	100,945	70,662	30,283

Fuente: Elaboración propia, 2011.

La Figura 5-9 muestra la nueva configuración del sistema de tratamiento de aguas residuales con la implementación de las nuevas unidades diseñadas.

Figura 5-9
Nueva Configuración del Sistema de Tratamiento de Aguas residuales



Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.2. Costo de Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

5.2.1. Tanque Pulmón de Aguas Residuales

En el costo de construcción del Tanque Pulmón, se toma en cuenta, el costo del material, la mano de obra, los equipos y accesorios que componen el sistema del Tanque Pulmón.

5.2.1.1. Determinación del Precio Final de la Obra Civil

Para determinar el precio de la construcción del tanque pulmón se tiene que determinar el volumen del hormigón, sabiendo que el metro cubico de hormigón cuesta 660 Bs. Se determina que el volumen de hormigón a construir es de 52,8 m³ aproximadamente dando así como resultado aproximado del precio de la obra.

En la tabla V-12 se indican los costos de inversión asociados al sistema del Tanque Pulmón.

Tabla V-12
Costos de la Construcción del Tanque Pulmón

Tanque Pulmón	Total compra	Unidad	Precio	Cantidad	Unidad	Precio Total (Bs)
Hormigón Ciclópeo	52,8	m ³	660			34848
Mano de Obra	3	personas	100	30	días	9000
Total						43848

Fuente: Elaboración propia, 2011.

La tabla V-13 indica los costos de los equipos auxiliares y accesorios necesarios para la instalación del Tanque Pulmón.

Tabla V-13
Costos de Equipos auxiliares y Accesorios del Tanque Pulmón

Equipos y Accesorios	Total Compra	Unidad	Precio Unitario	Valor total (Bs)
Tubo Acero inox. 3"	20	m	493,06	9861,2
Válvula inox. 3"	3		1624,06	4872,18
Tubo PVC 1"	10		1	10
Flujometro 3"	1		2436	2436
Bomba de Aguas Residuales	2		2650	5300
Total				22479,38

Fuente: Elaboración propia, 2011.

El costo de inversión de implementación del tanque pulmón de aguas residuales es de 65145,38 Bs.

5.2.2. Tanque Pulmón del Agente Neutralizante

Los costos de inversión del tanque pulmón del agente neutralizante se considera la inversión a realizar en la construcción del tanque pulmón y la inversión a realizar en la adquisición de equipos auxiliares y accesorios necesarios para la instalación del

tanque pulmón del agente neutralizante.

Los costos de inversión en la construcción del tanque pulmón del agente neutralizante se basa en el tipo de material de construcción, en la mano de obra y en los materiales necesarios para realizar la construcción del tanque del agente neutralizante.

En la tabla V-14 se indican los costos de los materiales para la construcción del Tanque de Hidróxido de Sodio.

Tabla V-14
Costo de Construcción del Tanque de Hidróxido de Sodio

Material	Total Compra	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Unidad	Valor Total (Bs)
Plancha Inox. 1mm.	15	m ²	360			5400
Mano de Obra	2	personas	100	7	días	1400
Gas Argón	10	m ³	220			2200
Electrodo Tig. 2 mm.	20		10			200
Total						9200

Fuente: Elaboración propia, 2011

De la misma manera en la tabla V-15 se muestran los costos de los equipos auxiliares y accesorios necesarios para la instalación del tanque pulmón para almacenar el Hidróxido de Sodio.

Tabla V-15
Costos de Equipos Auxiliares y Accesorios del Tanque de Hidróxido de Sodio

Equipos y accesorios	Total compra	Unidad	Precio unitario	Valor total (Bs)
Válvula 1"	1	unidad	756,76	756,76
Tubería inox. 1"	3	m	165,6	496,8
Flujometro	1		1740	1740
Medidor de pH de línea	1		3773	3773
Bomba dosificadora	1		2575,2	2575,2
Total				9341,76

Fuente: Elaboración propia, 2011.

La inversión total para la implementación del tanque pulmón para las aguas residuales y del tanque pulmón para hidróxido de sodio se indica en la tabla V-16.

Tabla V-16
Costo de Inversión Total de la Instalación

Costos	Valor (Bs)
Tanque Pulmón de Aguas Residuales	66327,38
Tanque Pulmon de NaOH	18541,76
Total	84869,14

Fuente: Elaboración propia, 2011.

5.2.3. Costo Real de Inversión

Según el método de Lang y Chilton para determinar los costos de inversión adecuadamente se deben incluir diferentes factores que encarecen su implementación, pero que deben considerarse para estimar adecuadamente la inversión real de la ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales (24).

En tabla V-17 se indican otros costos asociados a la implementación de los tanques de aguas residuales y de hidróxido de Sodio

Tabla V-17
Costos de Inversión del Tanque Pulmón de Aguas Residuales e Hidróxido de Sodio

Costos	Factor	Valor (Bs)
Ingeniería	0,3	25460,74
Contingencias e Imprevistos	0,05	4243,46
Capital de Trabajo y Puesta en Marcha	0,012	1018,43
Total		30722,63

Fuente: Elaboración propia, 2011.

De esta manera los costos reales por la implementación del tanque pulmón de aguas residuales y el tanque pulmón de Hidróxido de Sodio corresponden a 115591,77 Bs.

6.1. Conclusiones

- El aumento repentino del caudal del afluente de ingreso a la planta de tratamiento de las aguas residuales de la cervecería ASTRA, eleva la misma en un 50 % con respecto al caudal promedio, lo que provoca la resuspensión de los sólidos decantados que ocasiona ineficiencia de los sedimentadores.
- Debido a que el ingreso del flujo de 12,28 m³/h de agua residual al sistema de tratamiento no es de manera constante durante el turno de la noche y durante el fin de semana provoca inestabilidad en el sistema lo que se refleja en el descenso del pH y una alteración del proceso biológico anaerobio BIORAB-100 que provoca la disminución de la eficiencia de remoción de la materia orgánica.
- La disminución del pH de 5 a 4,5 en el proceso de Homogeneización y Fermentación, causa la inhibición de la actividad metanogénica en el BIORAB-100 y también provoca malos olores.
- El diagnóstico general de la planta de tratamiento de aguas residuales que se tiene en la tabla IV-1 muestra la baja eficiencia de remoción de la DBO₅, DQO, y se obtienen que los parámetros fisicoquímicos del efluente no están dentro de los parámetros de descarga establecido por el convenio de COSAALT.
- En el diagnóstico individual de los procesos de la planta de tratamiento se observa que el pH desciende en la etapa de homogeneización hasta 5,36 tal

como muestra la tabla IV-2. Este efecto puede ser causa de la acumulación de los sólidos orgánicos que no sedimentan en la etapa de sedimentación, y acompañado del tiempo de residencia hidráulico (TRH) causan la inestabilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales.

- Con las acciones realizadas aplicadas al sistema de tratamiento que consisten en la remoción manual de los sólidos en el sedimentador, y la neutralización de las aguas residuales antes del ingreso al reactor anaerobio BIORAB-100 durante una semana se logra un 69,6 % de remoción de la DQO y 60,9 % de remoción de la DBO₅ tal como muestra la tabla IV-9.
- De las pruebas realizadas en la planta de tratamiento de Aguas Residuales se concluye que es importante instalar un tanque pulmón para aguas residuales que permita mantener un flujo continuo de alimentación a la planta de tratamiento, retener los sólidos en suspensión, y un tanque pulmón para NaOH de 0,32 % peso/peso que permita neutralizar el agua residual antes de ingresar al BIORAB-100.

6.2. Recomendaciones

- Es importante mejorar la retención de los sólidos por lo que es necesario instalar un tanque pulmón de aguas residuales que ayude a mantener un flujo constante de ingreso al sedimentador.
- Es necesario aumentar la alcalinidad de las aguas residuales que ingresa al sistema de tratamiento ya que las aguas residuales de la cervecería ASTRA son fácilmente acidificables.
- Se hace necesario mantener un monitoreo continuo de la relación alcalinidad y ácidos grasos volátiles a la entrada del reactor BIORAB-100, para evitar una acidificación del mismo.
- Se sabe que el bicarbonato de sodio es más efectivo que la cal (hidróxido de calcio) y el hidróxido de sodio, por lo que se recomienda realizar un estudio posterior en el que se analice la posibilidad de aplicarlo en la entrada del sistema de tratamiento de aguas residuales o en la entrada del BIORAB-100.
- Es necesario introducir un caudal mínimo de agua a la entrada del Reactor Anaerobio BIORAB-100 los fines de semana, básicamente durante el período en que no entra agua al sistema para mantener la hidráulica del sistema y no se afecten los procesos biológicos ni se altere el pH, esto también ayudara a mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Se recomienda instalar un medidor de pH de línea y medidor de flujo para el

agua residual y para el hidróxido de Sodio. Estos instrumentos ayudará mantener un control más efectivo del pH y también del flujo de aguas residuales.