

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniería
Ambiental**

**Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa de
fabricación de quesos**

Gladys Karolina Chamorro Romero

Dr. PhD. Rodney Peñafiel

Quito, Diciembre 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa de
fabricación de quesos**

Dr. Ing. Ródney Peñafiel

Director del Proyecto y

Miembro del Comité de Tesis

Pablo Dávila Ph.D.

Miembro del Comité de Tesis

Valeria Ochoa-Herrera, Ph.D.

Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio de Ciencias E Ingeniería

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación queda sujeto a los dispuesto en la política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Gladys Karolina Chamorro Romero

C.I: 1717097453

Fecha: Quito, diciembre 2014

Dedicatoria

En primer lugar le dedico esta tesis a Dios, por todas las pruebas que puso en mi camino cada una en su momento correcto, para fortalecer mi corazón y forjar mi carácter.

Dedico esta Tesis a mis padres, Gladis y Julián, por su apoyo incondicional durante las tormentas y los días soleados. A mi madre por enseñarme que no hay obstáculo más grande que el amor de Dios y nuestra fuerza de voluntad. A mi padre por enseñarme que la perseverancia es la mejor de las virtudes y que los fracasos son las lecciones más valiosas de la vida. A mis hermanos, Gabriela y Esteban, por sus ojos de amor cuando mas lo necesitaba. A Anita Yépez, Leonidas Burgos y Andrés Salazar, por estar en mi vida en el antes, durante y después. A Ruth Salvador por ser mi compañera de locuras, risas y retos durante mi carrera.

Agradecimientos

Quiero agradecer a cada uno de mis profesores de carrera, Rodny, Valeria, Pablo, René y María del Carmen. A Rodny, por su incondicional apoyo en cada etapa de mi carrera, por su fe en mi y sus palabras de aliento. A Valeria, por mostrarme que cada detalles debe ser realizado con amor y dedicación. A Pablo, por demostrarme que puedo ser más grande de lo que mis sueños me permiten y más fuerte de lo que mi corazón me alcanza. A René y María del Carmen pro su apoyo incondicional en mis primeros años.

RESUMEN

A nivel nacional la industria láctea es uno de los sectores económicos que más ingresos genera. Por ser un industria en crecimiento sus instalaciones crecen y por tanto los volúmenes de producción de desechos. El desecho resultante con mayor impacto son los altos volúmenes de aguas residuales. Las aguas residuales suelen ser un gran problema al ser descargada a cuerpos de agua dulce cercanos a las industrias afectando no solamente a los ecosistemas sino a las poblaciones aledañas. Es por este motivo que el ministerio de ambiente instauró límites permisibles de descarga sobre los contaminantes dentro de estos efluentes. Para poder cumplir estos límites las fábricas dieron paso a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales. El objetivo del siguiente estudio se centra en la evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de quesos a través de la caracterización de su efluente, el montaje de reactores escala laboratorio. La evaluación fue llevada a cabo a través de 3 etapas: la caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales, el estudio de los lodos del reactor biológico y el estudio del efecto de la carga orgánica sobre la remoción de la materia orgánica.

ABSTRACT

The dairy industry is one of the economic sectors that generates the most revenue. Due to the fact that it is an industry in constant growth, its facilities keep expanding causing the increase of waste production. The waste with most problematic impact it's the high volume of wastewater. Wastewater tends to be a big problem when unloaded into freshwater bodies near the industry, affecting not only the ecosystem but also surrounding towns. It is for this reason that the ministry of environment established allowable discharge limits on pollutants within these effluents. To meet these limits factories began the construction of wastewater treatment plants. The objective of the following study focuses on the evaluation of a wastewater treatment plant from a cheese factory through its effluent characterization and the assembly of laboratory scale reactor. The evaluation was carried out through three stages: the characterization of the wastewater treatment plant, the study of the sludge of the biological reactor and the study of the effect of the organic load on the removal organic matter.

Tabla de contenidos

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 21 |
| 1.1 | Contaminación de la industria láctea | 21 |
| 1.1.1 | Contaminación atmosférica | 21 |
| 1.1.2 | Contaminación por desechos sólidos | 22 |
| 1.1.3 | Contaminación por aguas residuales | 22 |
| 1.2 | Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea | 23 |
| 1.3 | Legislación nacional | 24 |
| 2 | OBJETIVOS | 26 |
| 2.1 | Objetivo General | 26 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 26 |
| 3 | MARCO TEÓRICO | 26 |
| 3.1 | La industria quesera | 27 |
| 3.2 | Quesera ecuatoriana | 27 |
| 3.3 | Impactos ambientales de una quesera | 29 |
| 3.4 | Características del efluente de una quesera | 30 |
| 3.5 | Procesos de producción de aguas residuales en la quesera | 33 |
| 3.6 | Tratamiento de aguas para la quesera | 34 |
| 3.7 | PTAR de la quesera | 36 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4 | MÉTODOS Y MATERIALES | 39 |
| 4.1 | Materiales | 39 |
| 4.1.1 | Materiales de muestreo | 39 |
| 4.1.2 | Materiales para la caracterización | 39 |
| 4.1.3 | Materiales para el montaje de los biorreactores..... | 40 |
| 4.2 | Reactivos | 40 |
| 4.2.1 | Reactivos para la caracterización..... | 40 |
| 4.2.2 | Reactivos para los bioreactores | 41 |
| 4.3 | Métodos analíticos..... | 42 |
| 4.3.1 | DQO total | 42 |
| 4.3.2 | DQO soluble | 42 |
| 4.3.3 | Sólidos Suspendidos Totales | 42 |
| 4.3.4 | Sólidos Suspendidos Volátiles..... | 42 |
| 4.3.5 | pH | 43 |
| 4.3.6 | Nitratos, NO_3^- | 43 |
| 4.3.7 | Amonio, NH_4^+ | 43 |
| 4.3.8 | DBO_5 | 43 |
| 4.3.9 | Oxígeno Disuelto..... | 44 |
| 4.3.10 | Conductividad..... | 44 |
| 4.3.11 | Sulfatos SO_4^- / Sulfuros, S^- | 44 |
| 4.3.12 | Fosfatos, PO_4^{3-} | 44 |
| 4.4 | Métodos..... | 45 |
| 4.4.1 | Caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales de la quesera..... | 45 |
| 4.5 | Estudio de lodos del bioreactor | 49 |
| 4.5.1 | Estudio del efecto de la carga orgánica sobre la remoción de la DQO | 56 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 5 | RESULTADOS..... | 56 |
| 5.1 | Caracterización de la planta de tratamiento de “La Holandesa” | 57 |
| 5.2 | Estudio de lodos del bioreactor | 72 |
| 5.3 | Estudio del efecto de la carga orgánica | 90 |
| 6 | CONCLUSIONES | 92 |
| 7 | ANEXO I | 96 |
| 8 | BIBLIOGRAFÍA | 102 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--|----|
| 1. Efluente resultante del Experimento A. | 82 |
| 2. Efluente resultante del Experimento B. | 82 |
| 3. Efluente resultante del Experimento C. | 83 |
| 4. Efluente de los reactores C1 y C2. | 86 |
| 5. Montaje de los 5 reactores para estudio de aclimatación. | 96 |
| 6. Reactores usados para el estudio del efecto de la carga orgánica sobre los porcentajes de remoción de DQO. | 96 |

Índice de gráficos

1. Variación de la DQO total respecto al tiempo (24 horas), de los 6 reactores de prueba .. 74
2. Variación de la DQO total respecto al tiempo (24 horas), de los 6 reactores de prueba .. 75
3. Variación de la DQO particulada respecto al tiempo (24 horas), de los 6 reactores de prueba..... 76
4. Porcentajes de remoción de DQO soluble respecto a las 8, 12 y 24 horas. 78
5. Variación de DQO total, DQO soluble y DQO particulada de C1 y C2, bajo las proporciones establecidas en el experimento B (80% medio basal y 20% aguas residuales crudas)..... 85

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Límites máximos permisibles Anexo A, Ordenanza 213, para descarga en cuerpos de agua dulce | 25 |
| Tabla 2 Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua dulce del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 12 | 25 |
| Tabla 3 Parámetros en concentraciones promedio en el efluente de una quesera | 33 |
| Tabla 4 Puntos de muestreo en la PTAR de la quesera | 47 |
| Tabla 5 Parámetros analizados para la caracterización de la PTAR, lugar de análisis, métodos utilizados y límites máximos permisibles de descarga dentro del DMQ..... | 48 |
| Tabla 6 Variaciones del volumen de lodos activados en los 5 reactores escala laboratorio..... | 50 |
| Tabla 7 Receta medio basal mineral usado en el bioreactor | 52 |
| Tabla 8 Receta de la solución de elementos traza usada en el medio basal mineral | 53 |
| Tabla 9 Variaciones de las proporciones entre agua potable, medio basal mineral, aguas residuales y lodos de los reactores RI y R2. | 55 |
| Tabla 10 Variaciones de la concentración de DQO y en los tiempos de aireación para los reactores en la prueba del efecto de la carga orgánica..... | 56 |
| Tabla 11 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 7 de junio del 2014 en la PTAR de la quesera (M1)..... | 58 |
| Tabla 12 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 5 de julio del 2014 en la PTAR de la quesera (M2)..... | 59 |
| Tabla 13 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 6 de septiembre del 2014 en la PTAR de la quesera (M3)..... | 60 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 14 | Parámetros caracterizados durante el muestreo del 15 de enero del 2014 en la PTAR de la quesera (M4) | 61 |
| Tabla 15 | DQO total de M1, M2, M3 y M4 en punto de muestreo 1 y 6, y porcentajes de remoción | 63 |
| Tabla 16 | DQO soluble de M1, M2, M3 y M4 en punto de muestreo 1 y 6, y porcentajes de remoción | 64 |
| Tabla 17 | Concentraciones inicial y final de SST en M1, M2, M3 y M4, y porcentajes de remoción. | 66 |
| Tabla 18 | Concentraciones inicial y final de DBO de M1, M2, M3 y M4 y porcentajes de remoción | 68 |
| Tabla 19 | Variaciones de cada 13 horas para Fosfato, Nitrato y Amonio de los 6 reactores | 78 |
| Tabla 20 | Variaciones de cada 12 horas de ST, SST, SV y SSV de los 6 reactores | 78 |
| Tabla 21 | Características de los lodos utilizados para el montaje del bioreactor, antes de las 24 horas de aireacion y después de las 24 horas de aireación, durante el proceso de crecimiento | 80 |
| Tabla 22 | Características del efluente de la quesera usado en el montaje del reactor | 81 |
| Tabla 23 | Variaciones DQO total y DQO soluble respecto a las variaciones dentro de los experimentos A, B y C y sus porcentajes de remoción final | 83 |
| Tabla 24 | Resultados DQO total y DQO soluble de las variaciones usadas para el estudio del volumen de dilución del efluente y porcentajes de remoción de cada una. | 88 |
| Tabla 25 | Porcentajes de remoción de DQO total para cada variación de carga orgánica. | 91 |
| Tabla 26 | Porcentajes de remoción de DQO soluble para cada variación de carga orgánica..... | 91 |
| Tabla 27 | DQO total de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo..... | 97 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 28 DQO soluble de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo | 97 |
| Tabla 29 Nitrato de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo | 98 |
| Tabla 30 Amonio de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo..... | 98 |
| Tabla 31 Fosfato de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo..... | 99 |
| Tabla 32 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 1, en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo | 99 |
| Tabla 33 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 2 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo | 100 |
| Tabla 34 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 3 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo | 100 |
| Tabla 35 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 4 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo | 100 |
| Tabla 36 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 5 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo | 101 |
| Tabla 37 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 6 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo | 101 |

Índice de Ecuaciones

1. 35

Lista de Acrónimos

PTAR: Planta De Tratamiento De Aguas Residuales

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente

OM: Ordenanza Municipal

DMQ: Distrito Metropolitano de Quito

LIA- USFQ: Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Universidad San Francisco de Quito

DQO; Demanda Química de Oxígeno

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

SS: Sólidos Suspendidos

SV: Sólidos Volátiles

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles

PAC: Policloruro de Aluminio

1 Introducción

La producción lechera en el Ecuador mueve alrededor de 700 millones de dólares anuales, por lo que a nivel nacional es considerada como un foco de desarrollo para los productos lácteos de exportación, con un aumento anual del 8% (1). El 72.8 % de la leche total producida se encuentra en la Sierra dando como resultado una concentración de las unidades de producción agropecuaria en la sierra (2).

A nivel nacional el 6.8% de la producción total de la leche es dedicado a la producción de queso (3). Esto significa que se usan 0.24 millones de litros de leche al día para la producción de queso, por esto es necesario pensar en las consecuencias ambientales de esta industria (4). La mayoría de los desechos producidos en la fabricación del queso son residuos líquidos, los cuales constituyen el 99% de la generación total (5). El procedimiento más común es la descarga de los efluentes a cuerpos de agua dulce cercanos, acciones que producen efectos negativos no solamente a los ecosistemas directamente relacionados a los cuerpos de agua, sino también a las comunidades que usan estos ríos como fuentes de agua dulce (6).

1.1 Contaminación de la industria láctea

Dentro de la industria láctea existen numerosas actividades generadoras de desechos sólidos, líquidos y gaseosos. A continuación se citan algunos ejemplos de contaminación del sector lácteo (7)

1.1.1 Contaminación atmosférica

Los contaminantes atmosféricos son todos aquellos contaminantes que quedan suspendidos en el aire sea por causas naturales o por actividades antropogénicas¹ (8). Esta contaminación puede originarse por procesos de combustión, volatilización, incremento de la concentración de materia particulado en el aire y por reacciones químicas entre contaminantes en la atmosfera. Estos compuestos al encontrarse en cantidades representativas pueden producir efectos nocivos en el ambiente y en la salud humana (8). En el caso de la industria quesera podemos verla en el uso de calderas para el calentamiento del agua para los procesos de limpieza y manufactura (5).

1.1.2 Contaminación por desechos sólidos

Los desechos sólidos son todos aquellos residuos que son resultado de interacciones animales o humanas, estos son clasificados como desechos sólidos (9). Dentro de la producción de quesos, los residuos sólidos no son considerados un problema, pero aun así existe generación de residuos domésticos y residuos sólidos peligrosos los cuales son tratados por el gestor municipal (4).

1.1.3 Contaminación por aguas residuales

Las aguas residuales son todos los desechos líquidos producidos por la combinación de efluentes provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales. La característica principal de este tipo de desechos reside en que poseen concentraciones de contaminantes por sobre los límites permitidos, elementos que muchas veces son perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (10). En este caso, la contaminación por aguas residuales es el impacto ambiental más importante durante el ciclo de producción de quesos (11). Los procesos con mayor producción de efluente son el lavado de los tanques de almacenamiento, el uso de salmuera para las etapas de salado y el desuerado del producto al momento de la coagulación (12).

¹ Actividades antropogénicas son todas las actividades que son de origen humano o son producidas por el hombre (53)

En la industria láctea el uso de grandes cantidades de agua para el procesamiento de la leche es el primer obstáculo al que hay que enfrentarse durante el tratamiento del efluente contaminado. El impacto es tal que para producir 1 kg de queso se necesitan de 3 a 6 litros de leche y por cada litro de leche se obtienen de 4 a 6 litros de aguas residuales (13).

Los principales contaminantes en el agua residual de la producción de quesos son las grasas emulsificadas, las proteínas y los azúcares; que se encuentran presentes como sólidos suspendidos y sólidos coloidales (11). Los sólidos coloidales son partículas de hasta 1 μm de diámetro que no pueden ser removidas de manera mecánica del efluente (14). Estos sólidos aumentan con los procesos de descomposición de materia orgánica y debe ser depurados por procesos químicos o de digestión microbiana (14).

1.2 Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea

Con el objetivo de evitar impactos ambientales en los cuerpos de agua del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el municipio exige a las industrias el cumplimiento de normas y leyes que establecen límites permisibles de descarga de contaminantes en un efluente. Las normas son el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) y la Ordenanza No. 404, dentro del DMQ, que reemplaza a la No. 213 dentro del DQM.

Dentro de esta normativa se encuentran límites de descarga para cuerpos de agua dulce, cuerpos de agua salada y alcantarillado.

Como primer paso hacia este objetivo las industrias han instalado plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) cuyo fin es disminuir el impacto ambiental de su efluente y dar paso al cumplimiento de las normas municipales.

Las plantas de tratamiento varían según cantidad y calidad del efluente. De manera general se habla del tratamiento primario o físico y del tratamiento secundario o biológico (10). Dentro de las plantas de tratamiento de las industrias lácteas, según el Manual de Producción más Limpia de Nicaragua (2010), la presencia de un sistema de flotación como tratamiento primario es una de las primeras recomendaciones por la presencia de grasas emulsificadas en el efluente. Con un DAF a nivel industrial, en una PTAR láctea, se llegan a remociones del 72% de sólidos suspendidos, 62% de aceites y grasas y 53% de la DQO total (15). Como tratamiento secundario, el uso de un sistema de lodos activados es lo más común gracias a su bajo costo y finalmente un sistema de tratamiento de biosólidos para su reutilización (16).

1.3 Legislación nacional

Actualmente, en el Ecuador los límites permisibles de descarga están regulados por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) vigente desde el 4 de abril del 2011, por la ordenanza No. 404, para permisos ambientales y la Ordenanza No. 213 para los límites permisibles de descarga. Dentro de este texto se encuentran las concentraciones máximas permisibles de descarga y los parámetros mínimos que necesitan ser medidos dentro de la industria láctea. Para el siguiente estudio se tomarán los valores de los contaminantes más importantes de la industria quesera (17). En la tabla 1 se presentan los principales contaminantes del efluente lácteo y sus concentraciones máximas permisibles en el Distrito Metropolitano de Quito según el Anexo A de la Ordenanza 213 para el DMQ y en la Tabla 2 los límites permisibles de descarga especificados en el TULSMA.

Tabla 1 Límites máximos permisibles Anexo A, Ordenanza 213, para descarga en cuerpos de agua dulce

| Parámetro | Unidad | Límite Permisible |
|-------------------------------|---------------|--------------------------|
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 123 |
| Temperatura | °C | <35 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 53 |
| Aceites y Grasas | mg/L | 50 |
| Fosfatos | mg/L | 10 |
| Sulfatos | mg/L | 1000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 70 |
| pH | -- | 5-9 |

Tabla 2 Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua dulce del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 12

| Parámetro | Unidad | Límite Permisible |
|-------------------------------|---------------|--------------------------|
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 250 |
| Temperatura | °C | <35 |
| Sólidos Totales | mg/L | 1600 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 100 |
| Aceites y grasas | mg/L | 0.3 |
| Fosfatos | mg/L | 10 |
| Nitratos + Nitritos | mg/L | 10 |
| Nitrógeno Total | mg/L | 15 |
| Sulfatos | mg/L | 1000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 100 |

La siguiente tesis toma como tema principal el estudio de la eficiencia de una PTAR, en una empresa de elaboración de quesos. Este análisis es realizado con el fin de promover soluciones prácticas algunos problemas usuales en las plantas de tratamiento de aguas residuales de quesera como acidificación del efluente, ineficiencias en el reactor biológico y baja remoción de DQO.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluación del funcionamiento de una PTAR en una empresa de fabricación de quesos a través de la caracterización de su efluente y montaje de bioreactores a escala laboratorio para depuración de agua residual.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinación de la carga horaria hidráulica y orgánica de cada proceso de tratamiento en la planta.
- Evaluación del funcionamiento de cada etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Estudios de laboratorio por medio del montaje de un bioreactor de degradación aerobia para la remoción de la carga contaminante (carga orgánica, carga de nutrientes) de efluente de una quesera.

3 Marco Teórico

Actualmente en el Ecuador el tratamiento de las aguas residuales a nivel industrial es uno de los requerimientos más importantes para poder contar con un permiso de funcionamiento (18). Es

por esta razón que la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales en cualquier tipo de industria es de suma importancia.

Las PTAR funcionan como un conjunto de procesos fisicoquímicos y biológicos que tienen como objetivo reducir la carga contaminante en el efluente tratado (19). Existen procesos estandarizados para el funcionamiento óptimo de una PTAR, estos son operaciones unitarias usadas para el proceso de descontaminación. (10). La selección del tipo de procesos unitarios a ser utilizados dentro de una planta de tratamiento depende de factores como (20):

- Características y cantidad de las aguas residuales
- Límites permisibles de descarga

3.1 La industria quesera

A nivel nacional, la elaboración del queso es una de las ramas de la industria láctea con mayor acogida y crecimiento económico en los últimos 10 años (1). A este importante producto se lo puede clasificar por grado de añejamiento, textura, contenido en grasa y contenido de humedad (21). Dentro la clasificación según el contenido de humedad se encuentra el queso fresco el cual acapara con el 81.5% de la producción nacional, mientras que dentro de la clasificación según su textura encontramos al queso mozzarella que ocupa un 10.3% de la producción nacional (22). Los procesos de producción de los diferentes tipos de queso siguen generalmente el mismo procedimiento. La principal diferencia dentro de los métodos de producción y tipos de queso está en los tiempos de maduración y los tipos de coagulación necesaria para llegar al producto final.

3.2 Quesera ecuatoriana

En busca de suplir los requerimientos de sus consumidores, las queseras ecuatorianas, se encuentran en constante mejora de sus instalaciones y productos. Dentro de la planta en análisis los quesos de mayor producción son el queso fresco, queso fresco criollo y queso mozzarella.

Los ciclos de producción diaria comienzan a la 1 a.m. y son consecutivos según el programa de producción planteado. Los quesos se producen de forma consecutiva, es decir uno atrás de otro, por lo que el efluente de la planta varía de forma horaria. A la planta ingresan de 30 a 40 mil litros diarios de leche en promedio y hay un coeficiente de uso de agua para el proceso de 1.7 a 2 litros de agua por cada litro de leche que ingresa (23).

La planta se encuentra localizada en Puenbo, a 3 km del puente del Rio Chiche. Las coordenadas de localización son latitud $0^{\circ}12'23.2''$ y longitud $78^{\circ}22'6.9''W$. Al ser el Rio Chiche el cuerpo de agua más cercano, es aquí donde la industria realiza sus descargas de agua residual. El clima de la zona es cálido templado, con una media de 74 mm de precipitación anuales.

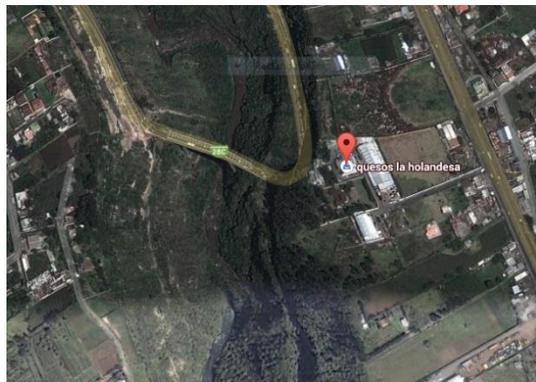


Figura 1 Localización de la planta ecuatoriana productora de quesos.

La planta de producción de quesos está compuesta por un galpón dividido en 3 secciones de producción. Para la elaboración de queso tenemos:

1. Área de pasteurización y coagulación, donde la leche se prepara para dar inicio a los procesos de producción de queso.
2. Área de prensado y moldeo, donde los pedazos de leche son colocados en moldes, pasan por procesos de prensado y es retirado el lactosuero.
3. Área de salado, donde se encuentran las piscinas de salmuera para dar paso al salado de los quesos.

Cada una de estas áreas cuenta con un sistema de recolección de aguas residuales.

En el área de pasteurización la mayor parte de efluente proviene de los derrames producidos en la transferencia de la leche de los tanques de pasteurizado hacia los tanques de coagulación, por lo que su efluente contiene leche pura y en dilución.

En el área de prensado y moldeo, la mayor parte del efluente proviene de los procesos de coagulación y fermentación de la leche. El efluente tiene un pH suele ser ácido y tiene un alto contenido de lacto suero.

Finalmente en el área de salado, el efluente tiene altas cantidades de salmuera, producto que se usa para el proceso de salado, por lo que tiene alta conductividad y un alto contenido de sales. Los tres diferentes puntos de descarga de efluentes se unen en un solo sistema de recolección final el cual es redirigido hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

3.3 Impactos ambientales de una quesera

Dentro de la fabricación de quesos existen, impactos ambientales causados por emisiones gaseosas, producción de residuos sólidos y producción de aguas residuales (7).

En las emisiones atmosféricas está el uso de calderas con un bajo impacto ambiental. Las calderas son usadas para aumentar la temperatura del agua de lavado y calentar los tanques de pasteurización de la leche, estas funcionan a través de procesos de combustión de carbón. La empresa se somete de manera periódica a análisis de sus emisiones gaseosas, siempre manteniéndose bajo los límites permisibles del Distrito Metropolitano de Quito.

En la producción de residuos sólidos tenemos altos niveles de generación pero con impacto ambiental controlado. La empresa hace usos de plásticos, recipientes, fundas y empaques, a lo largo de todo el proceso de producción. Los desechos sólidos son tratados de manera local, retirados por un gestor municipal, el cual los lleva al relleno sanitario para su tratamiento.

En la generación de aguas residuales tenemos al elemento con mayor impacto ambiental. Los procesos de lavado, salado y coagulación, son las fuentes principales de efluente líquido. Para poder cumplir con los límites máximos permisibles, la quesera realizó la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, en busca de una solución para este problema de generación.

3.4 Características del efluente de una quesera

La industria láctea es una de las industrias con mayor impacto ambiental dadas las características de su efluente (11). Los vertidos producidos durante la producción de quesos, leche pasteurizada y otros productos lácteos tienen como contaminantes principales a grasas, aceites, azúcares y proteínas. La mezcla de todos estos componentes y los altos volúmenes de producción de efluente hacen de extrema importancia la identificación de sus concentraciones y el diseño de un proceso de tratamiento especializado.

El queso es el segundo producto más importante de la industria láctea gracias a su alta demanda a nivel mundial (24). En muchas naciones productoras de queso el coeficiente de volumen de desecho de las industrias se encuentra entre los 2.43 m³ a 3.14 m³ de agua residual por cada litro de leche procesada, alcanzando muchas veces hasta 9 veces el volumen de leche que ingresa a la planta (17).

Para caracterizar las aguas residuales de la industria del queso hay que tomar en cuenta parámetros como el oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos (SS), nitrógeno, aceites y grasas (AG), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), entre otras (19).

Las aguas residuales provenientes de procesos de producción de queso, suelen necesitar de oxígeno para la dar paso a la degradación biológica y química de la materia orgánica, como consecuencia de la presencia de lactosa, grasas y proteínas solubilizadas provenientes del suero (11). Es por estos motivos que su DBO₅ llega a valores entre 600 – 60000 mg/L, mientras que su DQO se encuentra entre los 800 -102000 mg/L (11).

Los efluentes de las industrias productoras de queso suelen ser usualmente neutros, pero por la facilidad de la lactosa para entrar en procesos de fermentación hacen de las aguas residuales un efluente ácido. El pH para aguas residuales lácteas se encuentra entre 6 y 8.5 (25).

Los sólidos suspendidos (SS) suelen ser grasas emulsificadas, proteínas y azúcares provenientes del proceso de producción (26). El problema de los SS reside en la dificultad para tratar los sólidos coloidales en los efluentes por medio de métodos fisicoquímicos y en las interferencias que estos puedan causar en el tratamiento biológico (27). Los rangos de concentración más

comunes varían entre los 100 mg/L - 22000 mg/L. La fuente de sólidos suspendidos más común son el cuajo y los trozos de queso, por lo que son predominantemente orgánicos (28).

Existen altos contenidos de nutrientes como nitrógeno y fósforo, principalmente por el uso de detergentes y la descomposición de proteínas. Las altas concentraciones de nitrógeno llevan a la eutrofización de los cuerpos de agua donde el efluente es descargado (29). El rango de las concentraciones que se suelen encontrar en los efluentes queseros está entre 6 mg/L – 500 mg/L (12).

Los aceites y grasas son importantes por su dificultad de biodegradabilidad y su capacidad de actuar como interferencias dentro de los procesos de degradación. Estos contaminantes provienen de la leche y de las aguas de lavado de la cuajada. Dentro de la leche pura del 4% al 6% son grasas por lo que tiene un aporte significativo al efluente. El rango de concentraciones más común está entre los 7 mg/L a 2900 mg/L (12).

En la Tabla 3 se presentan los parámetros más importantes para el análisis de un efluente quesero. Cada uno de los parámetros se encuentra con su concentración media y su rango de concentraciones.

Tabla 3 Parámetros en concentraciones promedio en el efluente de una quesera

| Parámetro | Unidades de análisis | Concentración media | Rango de concentraciones |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| DBO ₅ | mg / L | 2300 | 40-48000 |
| DQO | mg / L | 4500 | 80-95000 |
| pH | --- | 7.2 | 4.5-9.4 |
| Sólidos Totales | mg / L | 2540 | 135-85000 |
| Sólidos Suspendidos | mg / L | 816 | 24-4500 |
| Sólidos Volátiles | mg / L | 1093 | 6-5360 |
| Sólidos Disueltos | mg / L | 1224 | 25-3200 |
| Nitrógeno | mg / L | 56 | 15-180 |
| Fósforo | mg / L | 33 | 12-132 |
| Cloro | mg / L | 200 | 48-559 |
| Volumen de Aguas residuales | L / kg de leche procesada | 2.5 | 0.085—7.2 |
| Temperatura | °C | 32 | 18-52 |

3.5 Procesos de producción de aguas residuales en la quesera

Durante la producción del queso, las operaciones con mayor generación de aguas residuales son (19):

1. El corte y el desuerado, en esta operación se separa los elementos coagulados del suero de la leche. El impacto de esta operación varía según el volumen de suero obtenido.
2. Salado, durante esta operación se utiliza cloruro de sodio como aditivo para darle sabor al producto. En este paso se obtiene un efluente con valores altos de conductividad.

3. Procesos auxiliares, en estos procesos tenemos las operaciones de limpieza y desinfección de la planta. En esta etapa se hace uso de detergentes ácidos y básicos, como ácido fosfórico y nítrico.
4. Las pérdidas de materia prima a lo largo del proceso de elaboración del queso. Durante un ciclo de producción pueden haber pérdidas en un rango entre 0.5% y 2.5% del volumen total de leche que ingreso al proceso (30).
5. La presencia de cargas orgánicas e hidráulicas forma horaria, según el tipo de queso producido. Esta actividad aumenta la presencia de picos de producción de aguas residuales y la variabilidad en los contaminantes que ingresen a la planta (17).

3.6 Tratamiento de aguas para la quesera

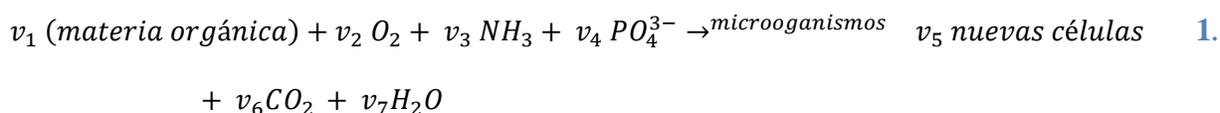
Como consecuencia de su alto nivel de impacto y la dificultad para su tratamiento, el efluente quesero se encuentra todavía en busca de un sistema de tratamiento de bajo costo, rápido y eficiente. Como cualquier otro proceso de depuración de aguas residuales, los procesos establecidos para el tratamiento de efluente quesero son métodos estándar; esto quiere decir que todas las plantas de tratamiento constan de un proceso primario y un proceso secundario. Para el tratamiento primario tenemos (31):

- Tamices o rejillas, para sólidos grandes que causen problemas en las tuberías y dentro del funcionamiento de la planta.
- Tanques de sedimentación, para eliminar los sólidos en suspensión.
- Tanques de homogenización y neutralización, para tratar cargas puntuales de efluente con pH muy bajos o muy altos y las cargas hidráulicas horarias.
- Tanques de desengrasado, eliminar la gran cantidad de grasas y aceites del efluente quesero ya que estas son difíciles de emulsionar.

Como siguiente paso al tratamiento físico-químico tenemos el tratamiento biológico. Para que el proceso no se demore mucho en arrancar, es recomendable el uso de microorganismos previamente aclimatados a la carga orgánica del efluente o microorganismos provenientes de una planta de tratamiento especializada en industrias lácteas (32).

Para el tratamiento biológico aerobio, se usan los procesos de lodos activados. El tratamiento de lodos activados se produce en suspensión. Al final del tratamiento, se puede hacer uso de los lodos producidos durante la etapa aerobia como fertilizante, gracias a su alto contenido proteico (12).

El proceso de lodos activados está diseñado para producir efluente de alta calidad con un menor costo de operación (33). La idea principal es exponer el efluente al contacto con los flóculos de los lodos y con un gradiente positivo de oxígeno, con el fin de estabilizar la materia (20). A la partícula formada por microorganismos y materia orgánica estabilizada se le llama floc biológico² (34). Las bacterias son los microorganismos más importantes dentro de los procesos de lodos activados, son estas las encargadas de los procesos de estabilización de materia orgánica y formación del floc (33). La reacción bioquímica más importante llevada a cabo por los microorganismos durante el proceso de los lodos activados es la de la síntesis de nuevas células. A continuación se presenta la ecuación de la degradación de manera simplificada, la cual representa las reacciones bioquímicas llevadas a cabo en el proceso de lodos activados.



² Un floc biológico es un sólido formado a partir del tratamiento de aguas residuales químico o biológico, este puede variar en tamaño según el proceso del que provenga (20).

Dentro de la ecuación anterior, se ve representado el oxígeno y los nutrientes necesarios para la transformación del contaminante orgánico a productos simples y estabilizados. Las nuevas células producidas representan la biomasa como producto de la oxidación (10).

Las tres partes esenciales en un sistema de lodos activados son el reactor biológico con abastecimiento continuo de oxígeno (tanque de aireación), el tanque de sedimentación (clarificador secundario) y las bombas de recirculación de lodos hacia el reactor (34).

Al finalizar el paso del efluente por el reactor biológico el agua tratada ingresa a un clarificador secundario (10). Dentro del clarificador se da la separación líquido sólido y los lodos activados se asientan en el fondo por medio de procesos de sedimentación. Los lodos asentados y recolectados son recirculados al reactor, mientras que el agua clarificada en la superficie del clarificador pasa al siguiente paso de tratamiento (34).

3.7 PTAR de la quesera

La planta de tratamiento de aguas residuales de la quesera utiliza los lodos activados como tratamiento biológico para la depuración de sus aguas. El tratamiento primario de esta planta es:

- Tanque de desbaste y tamizado, este tanque se encuentra al inicio del ciclo de tratamiento de las aguas residuales. El tanque tiene una bomba automática que regula el paso del agua a la siguiente etapa la cual se activa llegado cierto volumen.
- Tanque de desengrasado, este tanque es el segundo paso del tratamiento. La remoción de las grasas se realiza de manera mecánica, dependiendo de los niveles de acumulación de la misma en la superficie del efluente. Esta etapa también posee un tamiz auto limpiante

para los sólidos más pequeños como piedras o ramas que hayan atravesado el tamiz del primer tanque, su remoción se realiza de manera manual.

- Tanque de homogenización y neutralización, este tanque se usa para regular las cargas volumétricas y orgánicas que ingresan a la planta de tratamiento según la hora y el producto elaborado.

La siguiente etapa en la planta es los lodos activados, estos funcionan dentro de un tanque de 40m³. Este tanque tiene un tiempo de retención de 24 horas. Para la aireación del tanque la planta ha hecho uso de dos métodos, el primero que es la aireación por membrana, se inyecta aire a través de unos canales recubiertos por membranas para la formación de micro burbujas; el segundo, el método actual, aireación superficial por medio del uso de bombas de aireación que aportan con oxígeno y proceso de mezclado.

Después del tratamiento biológico la planta tiene un proceso de coagulación/floculación que sucede en un clarificador primario y un clarificador secundario. En esta etapa se trata de remover la biomasa suspendida en el efluente y recircular parte de los lodos activados al reactor biológico. Para la coagulación/floculación se usa Poli cloruro de aluminio (PAC) como floculante, la idea es desestabilizar la carga del campo electromagnético que rodea a la partícula coloidal y aumentar su capacidad para unirse a otras (10).

En la Figura 3, se observa un diagrama de flujo de la PTAR de la quesera y cada uno de sus procesos de depuración de contaminantes. A pesar de sus continuos esfuerzos para un buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales no ha logrado una eficiencia óptima en la remoción de contaminantes orgánicos.

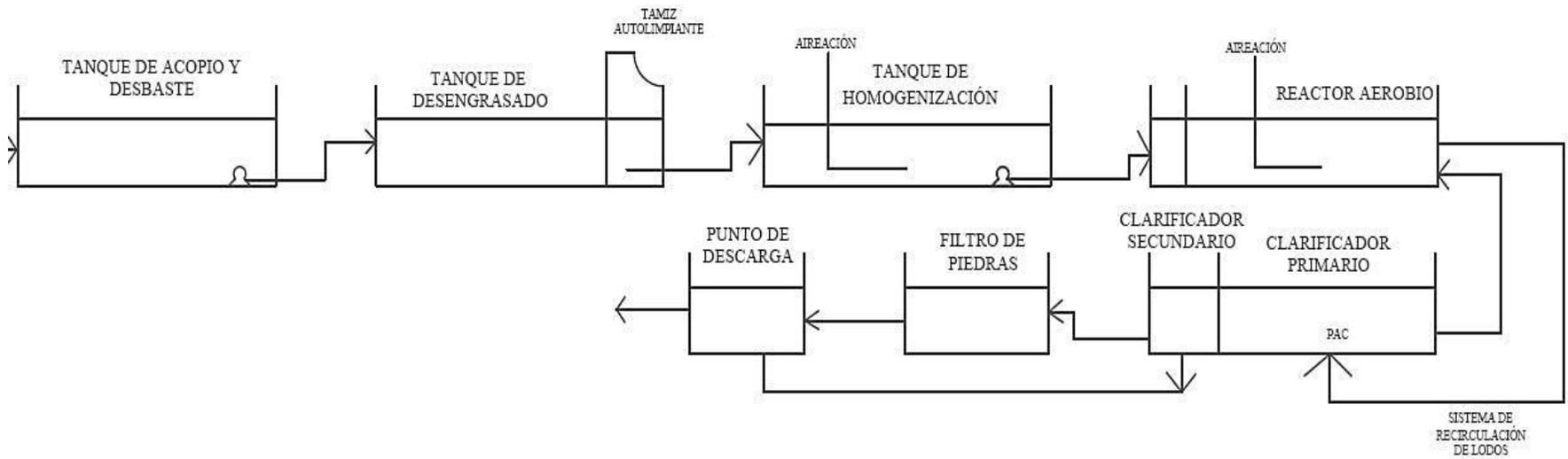


Figura 2 Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales

4 Métodos y Materiales

Los procedimientos de toma de datos se realizaron en 3 etapas:

- Caracterización de la planta de tratamiento
- Estudio de los lodos del bioreactor
- Estudio del efecto de la carga orgánica

Los análisis y procesos de montaje del reactor a escala fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad San Francisco de Quito. El laboratorio está localizado en Cumbayá con una presión atmosférica de 0.72atm. La temperatura media a la que se realizaron los análisis de parámetros ambientales es de 21°C.

4.1 Materiales

4.1.1 Materiales de muestreo

- Envases de orina de 150 mL.
- Marcador permanente para etiquetado de muestras.
- Recipientes 60x40x80, usados en el almacenamiento y transporte de muestras.
- Paquetes de hielo, mantener la temperatura de las muestras.

4.1.2 Materiales para la caracterización

- Balanza analítica Mettler-Toledo
- Agitador Magnético
- Equipo de filtración
- Horno 40 GC Lab Oven
- Mufla

- Miropipeta BioPette 1-5 mL
- Multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion 5-Star
- Electrodo de referencia Thermo Specific pH Electrode
- Orion Electrodo selectivo de amonio Thermo Specific Ion Selective Electrode, ISE Orion
- Electrodo de conductividad Thermo Specific pH Electrode, Orion
- Espectrofotómetro Spectronic 20D+ Thermo Fisher Scientific
- Triodo de pH Thermo Specific pH Electrode, Orion
- Filtros de microfibra de vidrio Whatman

4.1.3 Materiales para el montaje de los biorreactores

- 6 Botellas ámbar
- Manguera de 2mm para pecera
- 3 bombas para pecera Acuatric Animal Air Pump
- 6 difusores de aire para pecera
- Algodón
- Cortapicos

4.2 Reactivos

4.2.1 Reactivos para la caracterización

- Nitrato de plata AgNO_3
- Ftalato ácido de potasio (KHP)
- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- Ácido sulfúrico (95 – 97%)
- Cloruro de zinc (97.1%)

- Cloruro de amonio (NH_4Cl),
- Solución de ajuste de fuerza iónica (ISA amonio)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Cloruro de bario ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Sulfato de bario (BaSO_4)
- Nitrato de sodio NaNO_3
- Fenoftaleína $\text{C}_2\text{OH}_{14}\text{O}_4$
- Persulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Persulfato de potasio $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Hidróxido de sodio NaOH
- Molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Metavanadato de amonio NH_4VO_3
- Fosfato monobásico de potasio KH_2PO_4
- Solución de ajuste de fuerza iónica (ISA nitrato)

4.2.2 Reactivos para los bioreactores

- Solución elementos traza
- NH_4Cl
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
- CaCl_2
- Extracto de levadura
- KH_2PO_4
- Glucosa

4.3 Métodos analíticos

Los métodos analíticos y protocolos utilizados fueron los aprobados por el SMWW. A continuación se detalla el protocolo establecido para cada uno de los parámetros utilizados:

4.3.1 DQO total

Para determinar la DQO total se usó el método colorimétrico “5220 D” estipulado en el libro de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales. Se colocan 2.5mL de muestra, 1.5 mL de solución de digestión y 3.5mL de ácido clorhídrico. Se colocan las muestras en un horno a 105°C para los procesos de digestión.

4.3.2 DQO soluble

Para determinar la DQO soluble se usó el método colorimétrico “5220 D” estipulado en el libro de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales. Se colocan 2.5mL de muestra, 1.5 mL de solución de digestión y 3.5mL de ácido clorhídrico. Se colocan las muestras en un horno a 105°C para los procesos de digestión. La muestra debe ser filtrada con un filtro de 1.2 µm.

4.3.3 Sólidos Suspendidos Totales

Para determinar los sólidos suspendidos totales se usó el método de crisoles “2540 B” según las especificaciones del libro de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales. Se pesa un filtro. Se hace filtración al vacío de 50 mL de muestra y se coloca el filtro en el horno a 150°C por 2 horas, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa.

4.3.4 Sólidos Suspendidos Volátiles

Para determinar los sólidos suspendidos volátiles se usó el método de crisoles “2540 B” según las especificaciones del libro de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales. Se pesa un filtro. Se hace filtración al vacío de 50 mL de muestra y se coloca el filtro en el horno a 150°C por 2 horas, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa. Se mete el filtro a la una mufla a 550° por 3 horas, se enfría y pesa.

4.3.5 pH

Para determinar el pH se usó el Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star. Se colocó el electrodo de pH en la muestra hasta la generación de una lectura estable.

4.3.6 Nitratos, NO₃

Para determinar los nitratos se usó el Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star usando el método HACH 8507. Se realizó una curva de calibración de 1ppm, 5ppm, 10ppm, 25ppm y 50ppm. Se colocan 2 mL de ISA de nitrato por cada 100mL de muestra. Se colocó el electrodo hasta que se genere una lectura estable.

4.3.7 Amonio, NH₄⁺

Para determinar el amonio se usó el Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star usando el método HACH 8038. Se realizó una curva de calibración de 1ppm, 5ppm, 10ppm, 25ppm y 50ppm. Se colocan 10 mL de ISA de amonio por cada 100mL de muestra. Se colocó el electrodo de amonio y el electrodo de referencia en la muestra hasta que se genere una lectura estable.

4.3.8 DBO₅

Para determinar la DBO₅ se usó el protocolo “SM 5120 B” según las especificaciones del libro de Métodos Normalizados Para El Análisis De Aguas Potables Y Residuales. Se tomó un volumen de muestra establecido según la DQO y se lo colocó en la botella ámbar de 300mL. Se

colocaron dosis de NaOH dentro de unos tampones de caucho y se los colocó en el pico de la botella. Se colocó la tapa y se reseteó los valores. Se monitoreó por 5 días.

4.3.9 Oxígeno Disuelto

Para determinar el oxígeno disuelto se usó el Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star, según el método “SM 4500-O G” establecido en libro De Métodos Normalizados Para El Análisis De Aguas Potables Y Residuales. Se colocó el electrodo dentro de la muestra hasta que se da una lectura estable.

4.3.10 Conductividad

Para determinar la conductividad se usó Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star, según lo estipulado método “SM 2510 B” del libro de Métodos Normalizados Para El Análisis De Aguas Potables Y Residuales. Se colocó el electrodo en la muestra hasta que se obtuvo una lectura estable.

4.3.11 Sulfatos SO_4^- / Sulfuros, S^-

Para determinar sulfuros se usó el método “SM 4500-S₂- D”. Se usó el método colorimétrico establecido en del libro de Métodos Normalizados Para El Análisis De Aguas Potables Y Residuales. Se usó 5 mL de la muestra. Y para la determinación de sulfatos se usó el método “SM 426 C “.

4.3.12 Fosfatos, PO_4^{3-}

Para la determinación de fosfatos se usó el método SM 4500-P B establecido en el libro de Métodos Normalizados Para El Análisis De Aguas Potables Y Residuales. Se utilizó 5 mL de muestra. Se midió en el espectrofotómetro a 470 nm.

4.4 Métodos

4.4.1 Caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales de la quesera.

Para la caracterización de la PTAR se definieron 6 puntos de muestreo. Se realizó muestreo compuesto. Las muestras fueron tomadas cada hora, durante 12 horas (de 7 am a 7 pm).

Los parámetros medidos in situ fueron caudal del efluente, temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto. Para la preparación de la muestra final se mezcló un volumen de cada muestra horaria, proporcional a su caudal, en un solo recipiente con un volumen total de 1 L.

Para caracterizar la PTAR se realizaron 4 muestreos. El esquema de muestreo fue el siguiente: 7 de junio 2013, 5 julio 2013, 6 septiembre 2013 y 15 enero 2014. Los parámetros medidos en el laboratorio constan en la Tabla 5.

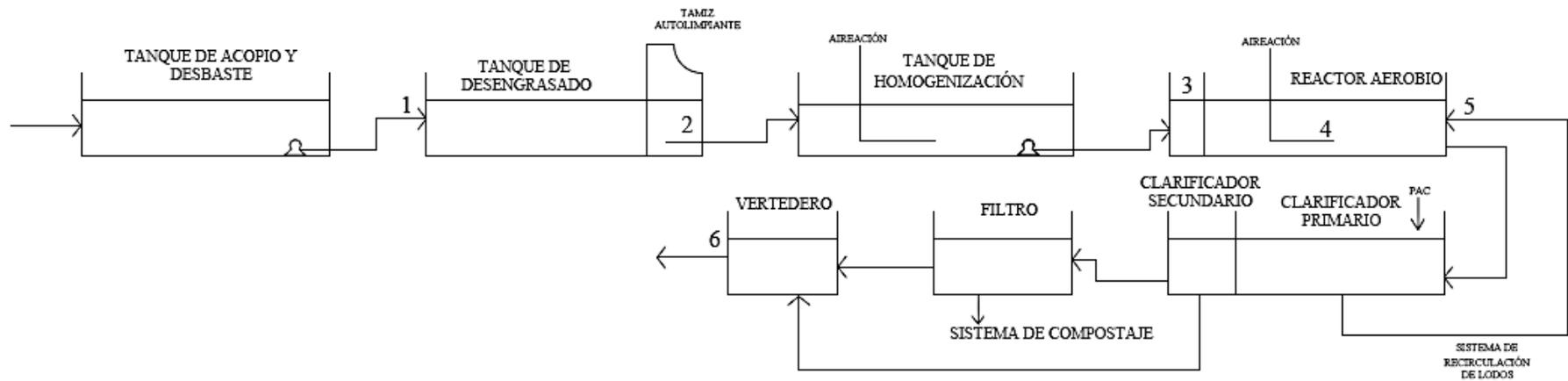


Figura 3 Diagrama de flujo de la quesera especificando los puntos de muestreo

Dentro de la Figura 3, se especifican los puntos de muestreo los cuales son especificados en la siguiente tabla:

Tabla 4 Puntos de muestreo en la PTAR de la quesera

| No. | Punto de muestreo |
|-----|------------------------------------|
| 1 | Entrada al tanque de desengrasado |
| 2 | Salida del tanque de desengrasado |
| 3 | Ingreso del reactor biológico |
| 4 | Licor mezcla del reactor biológico |
| 5 | Lodos de recirculación |
| 6 | Vertedero |

La toma de muestras se realizó según los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (*Standard Method for the Examination of Water and Wastewater; SMWW*). Para la toma de muestra se usó de polietileno de baja densidad de 150mL y las muestras se conservaron en un contenedor con hielo.

En la Tabla 5 podemos ver los parámetros analizados durante la caracterización de la PTAR de la quesera, sus límites permisibles, procedimientos bajo los cuales fueron medidos y el lugar donde fueron analizadas.

Tabla 5 Parámetros analizados para la caracterización de la PTAR, lugar de análisis, métodos utilizados y límites máximos permisibles de descarga dentro del DMQ

| Parámetro | Lugar de Análisis | Método estándar utilizado | Límite máximo permisible de descarga para un cuerpo de agua dulce según TULSMA tabla 12 | Límite máximo permisible de descarga según la Ordenanza Municipal |
|-------------------------------|--------------------------|---|--|--|
| DQO total | LIA-USFQ | Método colorimétrico 5220 D | 250 mg/L | 123 mg/L |
| DQO soluble | LIA-USFQ | Método colorimétrico 5220 D, muestra filtrada. | ----- | ----- |
| SST | LIA-USFQ | Método de Crisoles 2540 B | 100 mg/L | 53 mg/L |
| SSV | LIA-USFQ | Método de Crisoles 2540 B | ----- | ----- |
| pH | In Situ | Multiparámetro Thermo Scientific Orion | 5-9 | 5-9 |
| NO ₃ ⁻ | LIA-USFQ | Multiparámetro Thermo Scientific Orion, Método HACH 8507 | 10 mg/L | ----- |
| NH ₄ ⁺ | LIA-USFQ | Multiparámetro Thermo Scientific Orion HACH 8038 | ----- | ----- |
| DBO ₅ | LIA-USFQ | Método SM 5120 B | 100 mg/L | 70 mg/L |
| O ₂ | In Situ | Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star, Método SM 4500-O G | ----- | ----- |
| Conductividad | In Situ | Multiparámetro Thermo Scientific Orion 5 Star Método SM 2510 B | ----- | ----- |
| SO ₄ ⁻ | LIA-USFQ | Método 4500 S | 1000 mg/L | 1000 mg/L |
| PO ₄ ³⁻ | LIA-USFQ | Método SM 4500-P B | 10 mg/L | 10 mg/L |
| S ⁻ | LIA-USFQ | Método 4500 S | 0.5 mg/L | 0.5 mg/L |

Cada análisis se realizó por triplicado (35). En base a los resultados se levantó una línea base de la PTAR.

4.5 Estudio de lodos del bioreactor

Para el estudio del bioreactor se diseñó y montó reactores escala laboratorio. El objetivo de este montaje fue el tratar aguas residuales provenientes de la planta de producción de quesos.

Los lodos usados como inóculo para este estudio se obtuvieron de la PTAR de una planta productora de quesos y de una PTAR de la una faenadora de pollos. Para asegurar un corto tiempo de adaptación del inóculo a la PTAR, es preferible usar lodos que se encuentren familiarizados con la carga orgánica de este (36). Los lodos fueron aireados (24horas), aclimatados y expuestos al estudio.

El bioreactor consiste de una botella ámbar de 1L, envuelta de papel aluminio para evitar el ingreso de luz. Para la aireación se utilizar una bomba de pecera³, un difusor de aire y una manguera. Por último se coloca algodón en la boquilla de la botella para evitar la pérdida de humedad. El volumen de llenado es 800 mL por reactor. En la

Figura 4 se detalla el diseño del reactor y sus partes.

³ Bomba de pecera: Acuatric Animal Air pump, SC7500, con una frecuencia de 50/60Hz, 3.5W de potencia, 0.012 Mpa de presión, 2 outlet y flujo de aire de 3 L/min.

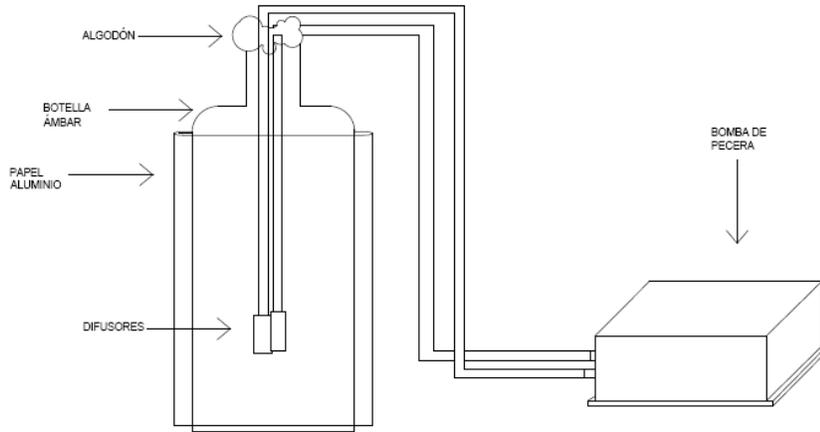


Figura 4 Reactor biológico escala laboratorio

Con el fin de determinar la concentración de lodos activados para una operación óptima del reactor escala laboratorio, se realizó el estudio de 5 reactores. La variable controlada fue el volumen de lodos respecto al volumen total del reactor, en porcentaje. Las aguas residuales y el inóculo utilizado para este primer experimento fueron extraídos de la quesera.

En la Tabla 6 se detallan las variaciones del volumen de lodos en los 5 reactores hasta un 30% de lodos activados respecto al volumen total del reactor.

Tabla 6 Variaciones del volumen de lodos activados en los 5 reactores escala laboratorio

| # de Reactor | Volumen de lodos aerobios (mL) | Volumen total del reactor (mL) | % de Lodos activados |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 1. | 16 | 800 | 2 |
| 2. | 40 | 800 | 5 |
| 3. | 80 | 800 | 10 |
| 4. | 120 | 800 | 15 |
| 5. | 160 | 800 | 20 |
| 6. | 240 | 800 | 30 |

Estos reactores se airearon por 24 horas, por motivo de aireación extendida. Se muestreó para la DQO, DQO soluble, SST, SSV, ST, SV, pH, oxígeno disuelto, amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}). Los resultados de este experimento se encuentran en Tabla 19, Tabla 20, Tabla 32, Tabla 33, Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37 y en Gráfico 1.

Después de determinar la concentración óptima de lodos para el bioreactor, se expuso a los lodos sobrantes del monitoreo a una etapa de crecimiento. En la etapa de crecimiento primero se recolectó lodos provenientes de una faenadora de pollos, se los mezcló con los lodos de la holandesa y se los expuso a una etapa de aireación continua por 48 horas para prepararlos para el siguiente experimento. Se realizó una nueva caracterización de los lodos cada 24 horas de aireación y la caracterización del efluente de la quesera. Los datos de la caracterización de los lodos y las aguas residuales están en la Tabla 21 y la Tabla 22. El crecimiento se realizó en 2 reactores obteniendo 2 L de lodos.

Como siguiente paso se expuso a los 5 reactores a las aguas residuales crudas, pero no hubo resultados favorables, el volumen de lodos disminuyó drásticamente y se detuvo el experimento. Durante la exposición de los lodos al efluente la carga orgánica mostró ser muy alta, los lodos cambiaron de color y disminuyeron en volumen. Como consecuencia de la dificultad de los microorganismos para la digestión del contaminante se usó agua residual cruda combinada con un medio basal mineral.

El siguiente experimento fue la determinación de la proporción entre agua residual y medio basal mineral bajo la cual se facilite la digestión del contaminante. El medio basal mineral tiene un donador de electrones de fácil digestión, la glucosa; junto con micro y macro nutrientes necesarias para la supervivencia de los microorganismos.

El medio basal mineral usado se extrajo de la tesis de la ingeniera Natazha Valarezo (37), con la modificación de 3.75 gramos de glucosa para reproducir la DQO del efluente de una planta productora de quesos, 4000 mg/L DQO (11). La receta del medio basal mineral se detalla en la Tabla 7 Receta medio basal mineral usado en el bioreactor Tabla 7.

Tabla 7 Receta medio basal mineral usado en el bioreactor

| Compuesto | Concentración en (mg/L) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| NH ₄ Cl | 280 |
| MgSO ₄ ·7 H ₂ O | 100 |
| CaCl ₂ | 10 |
| Extracto de levadura | 10 |
| KH ₂ PO ₄ | 2050 |
| Glucosa | 3750 |

Además de las concentraciones indicadas en la tabla anterior, se coloca 1 mL/L de la solución de elementos trazas para suplir con las necesidades de micronutrientes, de la cual la receta se especifica en la Tabla 8. Para finalizar con la preparación del medio basal se regula el pH entre 7,1 y 7,3. Para ajustar el pH se puede utilizar de 3 a 4 mL de ácido clorhídrico (HCl) y el volumen necesario de hidróxido de sodio (NaOH).

Tabla 8 Receta de la solución de elementos traza usada en el medio basal mineral

| Compuesto | Concentración en (mg/L) |
|--|-------------------------|
| H ₃ BO ₃ | 50 |
| FeCl ₂ ·4H ₂ O | 2000 |
| ZnCl ₂ | 50 |
| MnCl ₂ ·4H ₂ O | 50 |
| (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O | 50 |
| AlCl ₃ ·6H ₂ O | 90 |
| CoCl ₂ ·6H ₂ O | 2000 |
| NiCl ₂ ·6H ₂ O | 50 |
| CuCl ₂ ·2H ₂ O | 30 |
| NaSeO ₃ ·5H ₂ O | 100 |
| EDTA | 1000 |
| Resazurina | 200 |
| HCl 36% | 1 mL/L |

Este procedimiento se realizó en 5 reactores de 1L bajo aireación continua con un flujo de 2 mg O₂ / L. Se inició el experimento con 100% de medio basal mineral de efluente y lodos activados (Experimento A). Después de 5 días de aclimatación, en espera de un aumento de volumen de lodos activados, se disminuyó las proporciones a un 80% de medio basal mineral y 20% de aguas residuales crudas como efluente y lodos activados; se esperó 5 días más hasta una mejora visual de los lodos (Experimento B). Finalmente se usó una proporción de 60% medio basal 40% aguas residuales. Durante esta etapa se monitoreó ST, SST, SSV, DQO total, DQO soluble y Nitrato. Los datos de este procedimiento se encuentran en la Tabla 23.

Para demostrar la eficiencia del proceso bajo estas proporciones se hizo un estudio de la cinética de degradación de 2 reactores y se colocó los 3 restantes como reactores de crecimiento de lodos. Dentro de los 2 reactores se hizo monitoreo de DQO total y DQO soluble, para estudiar la presencia de microorganismos y la degradación de la materia orgánica. El monitoreo se realizó durante 8 horas cada dos horas y una muestra final a las 24 horas. Los datos de este procedimiento se encuentran en el Gráfico 5.

Debido a la alta presencia de sólidos coloidales en el efluente se dió paso al estudio de las diluciones de la carga orgánica con el fin de aumentar el porcentaje de remoción de DQO.

La dilución se realizó con agua potable. Las variaciones disminuían el volumen de medio basal mineral y aumentaban el volumen de agua potable. El experimento se realizó en 2 reactores (R1 y R2) con el fin de tratar de asegurar lodos en crecimiento para los experimentos. Las proporciones se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Variaciones de las proporciones entre agua potable, medio basal mineral, aguas residuales y lodos de los reactores RI y R2.

| Variación | | Agua potable (%) | Medio basal (%) | Agua residual (%) | Lodos (mL) |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | % respecto a 800 mL de Vol. | 20 | 60 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 160 | 480 | 160 | 200 |
| 2 | % respecto a 800 mL de Vol. | 25 | 55 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 200 | 440 | 160 | 200 |
| 3 | % respecto a 800 mL de Vol. | 30 | 50 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 240 | 400 | 160 | 200 |
| 4 | % respecto a 800 mL de Vol. | 40 | 40 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 320 | 320 | 160 | 200 |
| 5 | % respecto a 800 mL de Vol. | 45 | 35 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 280 | 360 | 160 | 200 |

Como mantenimiento de los reactores se realizó un cambio de medio cada 24 horas con 8 horas de sedimentación. Se preparó un nuevo medio basal mineral cada día. Para la sustitución de mezcla se retiró el sobrenadante de los lodos después de la sedimentación. Se agregó los volúmenes de cada componente correspondiente a cada día. Los reactores se encontraban bajo aireación (2 mg O₂/L) y se tapó con el algodón.

Se determinó el crecimiento de la biomasa y el porcentaje de remoción de sólidos coloidales con el monitoreo de DQO soluble y DQO total cada 24 horas, al inicio y la final de cada variación.

4.5.1 Estudio del efecto de la carga orgánica sobre la remoción de la DQO

Para el estudio del efecto de la carga orgánica sobre la remoción de DQO se varió la concentración de la DQO total. Los tiempos de aireación e intervalos de monitoreo variaron según la DQO.

Tabla 10 Variaciones de la concentración de DQO y en los tiempos de aireación para los reactores en la prueba del efecto de la carga orgánica.

| # Experimento | Carga orgánica (DQO mg/L) | Volumen de medio basal mineral (mL) | Volumen de aguas residuales (mL) | Tiempo de aireación (h) | Intervalos de monitoreo (h) | Volumen de lodos activados (mL) | Volumen de agua potable (mL) |
|---------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| CB | 1500 | 150 | 60 | 8 | 1 | 200 | 590 |
| CM | 2000 | 200 | 80 | 12 | 1.5 | 200 | 520 |
| CMA | 3000 | 300 | 120 | 18 | 2 | 200 | 380 |

La clasificación de los experimentos está dada por carga baja (CB), carga media (CM), carga media alta (CMA).

Para este estudio los parámetros analizados fueron amonio, nitrato, biomasa (SV o SSV), fosfatos y sulfatos. El volumen necesario por muestra es de 80 mL⁴.

5 Resultados

Para el análisis de los resultados se los presenta en:

⁴ El volumen de muestra tomado para el análisis de los parámetros disminuyó el volumen de mezcla en el reactor por tanto el volumen de lodos. Para dar paso a cada estudio del efecto de la carga orgánica se debe iniciar un nuevo proceso de crecimiento de lodos en base a la proporción del Experimento B. El volumen necesario de sólidos sedimentables es de 200mL en un reactor de 1L, el tiempo que toma en alcanzar esta proporción es de 2 a 3 semanas.

- Estudio del funcionamiento de la PTAR de la fábrica de quesos
- Estudio de los lodos del bioreactor
- Estudio del efecto de la carga orgánica

5.1 Caracterización de la planta de tratamiento de “La Holandesa”

Dentro de la Tabla 11 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 7 de junio del 2014 en la PTAR de la quesera (M1, Tabla 12, Tabla 12 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 5 de julio del 2014 en la PTAR de la quesera (M2)

Tabla 13 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 6 de septiembre del 2014 en la PTAR de la quesera (M3)

y

Tabla 14 se especifican los resultados de los parámetros caracterizados en la PTAR de la quesera. En el muestreo inicial el número de punto de muestreos es menor por una modificación que hubo durante la realización del experimento.

Tabla 11 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 7 de junio del 2014 en la PTAR de la quesera (M1)

| | Valores medidos por locación | | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|--|---|--|--|---|
| | Locación 1 entrada desengrasador | Locación 2 salida desengrasador | Locación 3 entrada al reactor biológico | Locación 5 lodos de recirculación | Locación 6 descarga de efluente | Valor máximo permisible e TULSM A | Valor máximo permisible e OM 213 |
| Conductividad [$\mu\text{s}/\text{cm}$] | 1362 | 1596 | 1601 | 1845 | 1862 | | |
| Demanda Química de Oxígeno Soluble [mg/L] | 4056 | 4056 | 2689 | 2056 | 3767 | | |
| Demanda Química de Oxígeno [mg/L] | 7700 | 2033 | 1417 | 2000 | 5800 | 250 | 123 |
| Demanda Química de Oxígeno Particulada | 3644 | | | | 2033 | | |
| pH | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 a 9 | 5 a 9 |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 21 | 22 | 22 | 22 | 23 | < 35 | < 35 |
| TSS [mg/L] | 433 | 547 | 1600 | 3040 | 240 | 100 | 53 |
| VSS [mg/L] | 466 | 613 | 1500 | 2967 | 220 | | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno [mg/L] | 2263.5 | 2112.6 | 2213.2 | 1961.7 | 855.1 | 100.0 | 70.0 |
| Oxígeno disuelto [mg/L] | 1.2 | 1.4 | 2.2 | 3.4 | 2.8 | | |
| Sulfuro soluble [mg/L] | 0.06 | 0.11 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.5 | 0.50 |
| Sulfatos [mg/L] | 18 | 14 | 11 | 10 | 10 | 1000 | 1000 |
| Fosfato [mg/L] | 28 | 22 | 49 | 63 | 38 | 10 | 10 |
| Nitrato [mg/L] | menor 0.5 | menor 0.5 | menor 0.5 | menor 0.5 | menor 0.5 | 10 | |
| Caudal Promedio (L/s) | 1.7 | 1.7 | 0.4 | 4.5 | 0.4 | | |

Tabla 12 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 5 de julio del 2014 en la PTAR de la quesera (M2)

| | Valores medidos por locación | | | | | | Valor máximo permisible TULSMA | Valor Máximo permisible OM 213 |
|---|----------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Locación 1 ENTRADA DESENGRASADOR | Locación 2 SALIDA DESENGRASADOR | Locación 3 ENTRADA AL REACTOR BIOLÓGICO | Locación 4 LICOR MEZCLA | Locación 5 LODOS DE RECIRCULACIÓN | Locación 6 DESCARGA DE EFLUENTE | | |
| Conductividad [$\mu\text{s}/\text{cm}$] | 1830 | 1846 | 1738 | | 1730 | 1808 | | |
| Demanda química de Oxígeno Soluble [mg/L] | 1183 | 1288 | 1082 | 917 | 988 | 1053 | | |
| Demanda Química de Oxígeno [mg/L] | 7850 | 7992 | 8933 | 7283 | 7483 | 6817 | 250 | 123 |
| Demanda química de Oxígeno Particulada | 6667 | 6704 | 7851 | 6367 | 6496 | 5763 | | |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 a 9 | 5 a 9 |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 21 | 22 | 21 | | 21 | 20 | <35 | <35 |
| TS [mg/L] | 900 | 889 | 1020 | 9309 | 629 | 623 | | |
| SV [mg/L] | 68 | 51 | 54 | 49 | | 29 | | |
| TSS [mg/L] | 437 | 506 | 1186 | 591 | 297 | 223 | 100 | 53 |
| VSS [mg/L] | 9 | 109 | 3 | 9 | 31 | 9 | | |
| Demanda Biológica de Oxígeno [mg/L] | 1436 | 1305 | 1914 | 1001 | 1305 | 305 | 100 | 70.00 |
| Oxígeno disuelto [mg/L] | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| Aceites y grasas (mg/l) | 387 | 377 | 380 | 204 | 205 | 5 | 50 | 50 |
| Fosfatos (mg/l) | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 10 | 10 |
| Nitratos (mg/l) | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 10 | |
| Sulfatos (mg/l) | 29 | 21 | 22 | 13 | 14 | 13 | 1000 | 1000.00 |

Tabla 13 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 6 de septiembre del 2014 en la PTAR de la quesera (M3)

| | Valores medidos por locación | | | | | | Valor máximo permisible TULSA | Valor Máximo permisible OM 213 |
|---|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Locación 1 ENTRADA DESENGRASADOR | Locación 2 SALIDA DESENGRASADOR | Locación 3 ENTRADA TANQUE AIREACION | Locación 4 licor mezclada | Locación 5 Lodos recirculación | Locación 6 DESCARGA | | |
| Conductividad [$\mu\text{s}/\text{cm}$] | 1949 | 2236 | 2043 | 1908 | 1908 | 1959 | | |
| Demanda química de Oxígeno Soluble [mg/L] | 2932 | 1654 | 1332 | 366 | 2544 | 421 | | |
| Demanda Química de Oxígeno [mg/L] | 3222 | 2844 | 1744 | 756 | 3444 | 522 | 250 | 123 |
| DQO LABIGEMPA | 1760 | 1455 | 1095 | 705 | | 450 | 250 | 123 |
| Nitratos LABIGEMPA [mg/L] | 1 | 1 | 4 | 3 | | 3 | 10 | |
| Sulfatos LABIGEMPA [mg/L] | 30 | 34 | 40 | 25 | | 23 | 1000 | 1000 |
| Aceites y Grasas LABIGEMPA [mg/L] | 538 | 145 | 80 | 33 | | 21 | 50 | 50 |
| Amonio [mg/L] | 97 | 84 | 67 | 40 | 51 | 7 | | |
| Demanda química de Oxígeno Particulada [mg/L] | 290 | 1190 | 412 | 390 | 900 | 101 | 100.0 | 70.0 |
| pH | 9 | 9 | 7 | 8 | 8 | 7 | 5 a 9 | 5 a 9 |
| Oxígeno disuelto [mg/L] | 7 | 6 | 7 | 2 | 2 | 2 | | |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 24 | 22 | 23 | 25 | 25 | 24 | < 35 | < 35 |
| TS LABIGEMPA | 2186 | 2048 | 1799 | 1726 | | 1261 | | |
| TS [mg/L] | 2013 | 2130 | 1723 | 1793 | | 1440 | | |
| SV [mg/L] | 947 | 1343 | 673 | 1183 | | 677 | | |
| VS LABIGEMPA | 1057 | 1030 | 833 | 801 | | 440 | | |
| TSS [mg/L] | 1390 | 448 | 573 | 763 | | 313 | 100 | 53 |
| VSS [mg/L] | 1347 | 425 | 527 | 743 | | 243 | | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno [mg/L] | 1044 | 1001 | 740 | 870 | 1610 | 305 | 100 | 70 |

Tabla 14 Parámetros caracterizados durante el muestreo del 15 de enero del 2014 en la PTAR de la quesera (M4)

| | Valores medidos por locación | | | | | | Valor máximo permisible TULSMA | Valor Máximo permisible TOM 213 |
|---|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Locación 1 ENTRADA DESENGRASADOR | Locación 2 SALIDA DESENGRASADOR | Locación 3 ENTRADA TANQUE AIREACION | Locación 4 licor mezclada | Locación 5 Lodos recirculación | Locación 6 DESCARGA | | |
| Conductividad [$\mu\text{s}/\text{cm}$] | 1487 | 1788.7 | 2779 | 2104 | 1908 | 2022 | | |
| Demanda química de Oxígeno Soluble [mg/L] | 944 | 726 | 813 | 507 | 338 | 446 | | |
| Demanda Química de Oxígeno [mg/L] | 1678 | 1922 | 1728 | 1906 | 3011 | 1861 | 250 | 123 |
| Nitratos LABIGEMPA [mg/L] | 1.20 | 1.40 | 4.00 | 3.40 | | 3.00 | 10 | |
| Amonio [mg/L] | 69 | 84 | 51 | 46 | 44 | 11 | | |
| Demanda química de Oxígeno Particulada [mg/L] | 733 | 1197 | 914 | 1399 | 2673 | 1415 | | |
| pH | 7.5 | 7.3 | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 7.3 | 5 a 9 | 5 a 9 |
| Oxígeno disuelto [mg/L] | 7.3 | 7.3 | 1.1 | 2.0 | 1.7 | 1.9 | | |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 29 | 27 | 27 | 26 | 25 | 25 | < 35 | < 35 |
| TS [mg/L] | 2127 | 1943 | 3177 | 3160 | 3173 | 3247 | | |
| SV [mg/L] | 1247 | 1107 | 1797 | 1370 | 1373 | 1390 | 0.5 | 0.50 |
| TSS [mg/L] | 258 | 324 | 380 | 851 | 647 | 644 | 100 | 53 |
| VSS [mg/L] | 244 | 309 | 371 | 847 | 636 | 638 | | |
| Demanda Biológica de Oxígeno [mg/L] | 1044 | 1001 | 1044 | 1131 | 1044 | 1044 | 100 | 70 |

5.1.1.1 Conductividad

Dentro de la descomposición de materia orgánica, la degradación de los ácidos grasos deja como resultado iones en el efluente (38). En las 4 caracterizaciones la conductividad tiene tendencia de crecimiento. En M1 y M4, la conductividad alcanza su punto máximo en el punto de descarga, esto puede deberse a la actividad microbiológica dentro del reactor biológico con el fin de degradar aceites y grasas. En M2 y M3, el mayor valor se da en la salida del desengrasador, en ambos monitoreos el agua se encuentra estancada en este punto de muestreo por tanto puede existir una leve degradación y por tanto aumento de la conductividad.

5.1.1.2 DQO total

El DQO total es una de las medidas estándar para la determinación de los niveles de contaminación de un efluente (20). Dentro de la industria quesera la concentración media, en Tabla 3, es de 4500 mg/L. Las eficiencias de una PTAR de una quesera de lodos activados no superan el 88% como consecuencia del alto contenido orgánico y presencia de sólidos coloidales (28). Los valores de DQO total de los 4 muestreos (inicial y final)⁵ se especifican en la Tabla 15. Ninguno de los muestreos muestra un porcentaje de remoción mayor al 50% por lo que se encuentran debajo del valor esperado. Además los valores finales de DQO se encuentran por sobre los límites máximos permisibles establecidos por ambas normas: 250 mg/L según TULSMA y 123 mg/L según la OM. Los valores se encuentran próximos a la media establecida para efluentes queseros. La planta está produciendo efluente con altos grados de concentración de materia orgánica biodegradable.

⁵ Dentro del primer muestreo existen inconsistencias en los datos por errores en el método analítico, por tanto para hacer un análisis comparativo sobre los porcentajes de remoción que incluya a los 4 muestreos se tomaron el primer y último punto de toma de muestra.

Tabla 15 DQO total de M1, M2, M3 y M4 en punto de muestreo 1 y 6, y porcentajes de remoción

| | DQO (mg/L) | | % de Remoción |
|----|------------|------------|---------------|
| | Locación 1 | Locación 6 | |
| M1 | 7700 | 5800 | 25 |
| M2 | 7850 | 6817 | 13 |
| M3 | 3222 | 522 | 84 |
| M4 | 1678 | 861 | 49 |

5.1.1.3 DQO soluble

La DQO soluble esta constituida por DQO fácilmente biodegradable y DQO lentamente biodegradable, el segundo se hidroliza para transformarse en DQO soluble (39). Los componentes principales son materia orgánica como carbohidratos, proteínas y lípidos; caracterizados como elementos fácilmente asimilables por los microorganismos (14). La reducción de la DQO soluble determina el grado de remoción de la materia orgánica biodegradable en el efluente y la eficiencia de los microorganismos para la digestión de la materia orgánica (20). En la Tabla 16 se especifican los valores de la DQO soluble de cada muestreo (inicial y final). El muestreo con mayor eficiencia de remoción de materia orgánica es M3 con el 86% y el más bajo es M1 con el 7%. Dentro de M2, M3 y M4, existe disminución de material orgánico biodegradable dentro del reactor biológico. M2 es el muestreo con menor actividad de digestión de materia orgánica dentro del reactor biológico al disminuir de 1082 mg/L a 917 mg/L; M4 tiene una actividad de remoción moderada con un 37% de remoción, y M3 tiene la actividad de digestión más alta dentro del reactor biológico con el 72% de remoción, coincide con ser el muestreo con el mayor porcentaje de remoción total. En M3 y M4 existe disminución de la DQO soluble dentro del tanque desengrasador. Una parte de la DQO soluble está formada

por moléculas hidrolizadas, grasas, que se encuentran presente como sólidos coloidales (39). Los desengrasadores están cumpliendo con la función de remoción de grasas, mientras que en M2 aumentan⁶.

Tabla 16 DQO soluble de M1, M2, M3 y M4 en punto de muestreo 1 y 6, y porcentajes de remoción

| | DQO soluble (mg/L) | | % de Remoción |
|----|--------------------|------------|---------------|
| | Locación 1 | Locación 6 | |
| M1 | 4056 | 3767 | 7 |
| M2 | 1183 | 1053 | 11 |
| M3 | 2932 | 421 | 86 |
| M4 | 944 | 446 | 53 |

5.1.1.4 pH

El rol del tanque homogenizador es estabilizar el efluente antes del ingreso al reactor biológico para evitar alteraciones en el pH, el rango para un tratamiento biológico óptimo se encuentra entre 6 y 9 (33). Durante M1 el pH de ingreso es 6 y baja a 5, condiciones desfavorables para el tratamiento biológico. En M2 el pH se mantiene óptimo en 7 durante todo el proceso de la planta. En M3 el pH se encuentra entre 6 y 9, fluctuando pero no saliéndose de los valores óptimos. M4, tiene un pH entre 8 y 7. El tanque de homogenización no está regulando el pH en M1 ni M3.

5.1.1.5 Temperatura

La temperatura óptima de funcionamiento para actividad biológica está en un rango de 25°C a 35°C (10). Para M1 la temperatura promedio es de 22, M2 es de 21, M3 es de 24 y M4 es de 27. Solamente M3 y M4 se encuentran dentro de la temperatura óptima para el tratamiento

⁶ El aumento de la concentración de DQO soluble, se puede atribuir a los problemas de estancamiento de aguas dentro del desengrasador en el segundo muestreo.

biológico, pero las 4 se encuentran bajo el límite máximo permisible establecido por el TULSMA y la OM. La media de pH para un efluente quesero es de 7.2 (11), por lo que los valores se encuentran no muy lejanos a la media.

5.1.1.6 Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales son un parámetro utilizado para la evaluación de la eficiencia de una PTAR (40). La concentración media es de 816 mg/L SST, Tabla 3, dentro del efluente quesero. Dentro de las aguas residuales domésticas la concentración de SST es de 160 mg/L (33), comparado con los valores actuales de 437 mg/L, 1390 mg/L y 258 mg/L se puede decir que contaminación es alta. Los SST están conformados por sólidos disueltos y coloidales, los cuales pueden ser orgánicos (grasas, proteínas y carbohidratos) o inorgánicos (14). Como se muestra en la Tabla 17 el mayor porcentaje de remoción de SST lo tenemos en M3, con un 77%. En M3 se da una remoción inicial dentro del desengrasador con una disminución de 1390 mg/L a 448mg/L que puede ser atribuida a la acción del desengrasador y remoción de grasas presentes como sólidos coloidales. Los sólidos suspendidos tienen que ser removidos por procesos de oxidación o coagulación/floculación (25), dentro de M3 existe acción del clarificador por la remoción del 58% de SST. El muestreo que no llega a remover SST en todo su proceso es M4, la concentración de SST aumenta a la salida del desengrasador⁷ y sigue aumentando hasta el reactor biológico, no hay acción del clarificador⁸ y el efluente de descarga tiene casi el doble de la concentración inicial. En M2 el porcentaje de remoción no es alto, llega al 50%; hay aumento de SST en el desengrasador y en el homogeneizador; a lo largo del paso del efluente por el clarificador hay remoción de SST de un 67% por el proceso de coagulación floculación.

⁷ Este aumento se puede atribuir al mal funcionamiento del desengrasador y estancamiento del efluente por la formación de natas densas en la PTAR.

⁸ No hay uso de coagulante en la PTAR. Los altos valores a lo largo del proceso pueden ser consecuencia de la acumulación de partículas orgánicas dentro del proceso por el mal funcionamiento del desengrasador y del clarificador.

Ninguno de los efluentes de descarga cumple con la normativa establecida por 100 mg/L (TULSMA) y 53 mg/L (OM).

Tabla 17 Concentraciones inicial y final de SST en M1, M2, M3 y M4, y porcentajes de remoción.

| | SST (mg/L) | | % de Remoción |
|-----------------|------------|-------------------|---------------|
| | Locación 1 | Locación 6 | |
| M1 ⁹ | | 240 | |
| M2 | 437 | 223 | 49 |
| M3 | 1390 | 313 | 77 |
| M4 | 258 | 644 ¹⁰ | |

5.1.1.7 Sólidos Suspendidos Volátiles

A la inicio de todo proceso de depuración, la concentración de los SSV es despreciable, por la baja presencia de microorganismos (20). Los SSV son una medida del crecimiento de la biomasa activa o microorganismos dentro del efluente. El rango de concentraciones típicas se encuentra entre los 225 mg/L y 2000 mg/L (11). Como resultado de la inconsistencia de los resultados no existe porcentaje de remoción para M1. Para M2 el valor es de 9 mg/L, prácticamente despreciable, lo que concuerda con (20) que dice que inicialmente la concentración de VSS es casi despreciable por la baja presencia de microorganismos. Para M3 el valor inicial es de 1347 mg/L y para M4 es de 244 mg/L. Estos valores altos se pueden atribuir al alto contenido de materia orgánica biodegradable en el efluente quesero (11). Se encuentran dentro del rango típico de concentraciones. Al observar los valores inicial y final M3 es el muestreo con mayor remoción de SSV. Los SSV son biomasa que puede ser removida por el

⁹ Existen inconsistencias en los valores de SST y SSV en M1 no es posible el cálculo de los porcentajes de remoción.

¹⁰ Existe una inconsistencia en el proceso el valor de salida es mayor al de entada, no hay porcentaje de remoción.

proceso coagulación o floculación (7), por lo que su remoción es eficiente. Para el tratamiento de lodos activados la sedimentación secundaria debe dar como resultado un aumento en la concentración de SSV de 5 a 10 veces mayor, para conformar los lodos de recirculación (15). Este proceso no sucede en ninguno de los 4 muestreos.

El grado de biodegradación de un efluente está dado por la relación entre su biomasa activa y la carga orgánica total (41) En el efluente de ingreso a la planta se relaciona los SSV/SST y se encuentran altos porcentajes de biodegradabilidad para M3 (96%) y M4 (94%), es decir el efluente tiene alta capacidad de biodegradabilidad.

5.1.1.8 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Según Carvalho, el rango de valores típicos se encuentra entre los 0.6 g/L y 60 g/L. La DBO se encuentra directamente relacionada con los VSS y sus procesos de remoción se dan dentro de tres etapas en la PTAR: reactor biológico, clarificador secundario y lodos de recirculación (10). En la Tabla 18 se puede ver que M2 (79%) es el muestreo con mayor porcentaje de remoción, a este le sigue M3 (71%) y M1 (62%). La remoción dentro del tanque de desengrasado es del 6%, 9%, 4% y 4%, respectivamente. Estos valores entran dentro del 5 al 10% de error, por lo que los valores no se pueden tomar como valores de referencia. Existe remoción de DBO dentro del reactor aerobio en M2 (48%), mientras que para M1, M3 y M4 no hay actividad de degradación en el reactor biológico. La mayor parte de la DBO es removida en el clarificador secundario. La DBO esta constituida por SST y SSV, por lo que esta puede ser removida por medio de procesos de sedimentación y coagulación (26). Dentro de los 4 muestreos la eficiencia del clarificador es de M1 con el 56%, M2 con el 76%, M3 con el 81%. Uno de los motivos de la ineficiencia del reactor en M1 puede ser la baja en el pH, y la alta presencia de SST y SSV. El efluente de la

quesera tiene como característica alta presencia de grasas y proteínas, estas al estar en forma coloidal actúan como interferencias y limitan la actividad de degradación (11).

Tabla 18 Concentraciones inicial y final de DBO de M1, M2, M3 y M4 y porcentajes de remoción

| | DBO (mg/L) | | % de Remoción |
|----|------------|------------|---------------|
| | Locación 1 | Locación 6 | |
| M1 | 2263 | 855 | 62 |
| M2 | 1436 | 305 | 79 |
| M3 | 1044 | 305 | 71 |
| M4 | 1044 | 1044 | 0 |

5.1.1.9 Oxígeno disuelto

Dentro de los reactores biológicos el valor óptimo para degradación biológica es de 2 mg/L de O₂, cuando se encuentran valores menores que 0.5 mg/L de O₂ la degradación es muy poco eficiente (10). Al tener un gradiente de concentración positivo los procesos de oxidación aerobia van a ser mas eficientes. En M1 el efluente ingresa con 1.2 mg/L de O₂ y al llegar al reactor biológico se encuentra en 2.8, por lo que el oxígeno no es un limitante. Para M2¹¹, los valores de oxígeno en el tanque de homogenizado y en el reactor biológico están en 1 mg/L, por debajo de los valores óptimos. M3 y M4 se encuentran en 2 mg/L dentro del reactor lo que garantiza la degradación aerobia. Dentro de los lodos activados una concentración de oxígeno disuelto mayor que 2 mg/L de O₂, no asegura un proceso de degradación eficiente, suele causar problemas en la formación de flóculos por el exceso de mezcla y conlleva a valores mayores de consumo energético, por tanto mayor presupuesto sin haber efecto en la eficiencia (33).

¹¹ Para este muestreo las membranas de aireación estaban teniendo problemas de acumulación de biomasa y estaban tapadas, se estaba esperando la llegada de los Blowers para el cambio del mecanismo de aireación.

5.1.1.10 Sulfatos/ Sulfuro

El azufre es necesario para la síntesis de proteínas y se obtiene como producto de la degradación de las mismas (10). El análisis de sulfuros en M1 dio como resultado concentraciones muy bajas de 0.06 mg/L, 0.11 mg/L o 0.09 mg/L, lo que nos dice que las concentraciones son casi imperceptibles y se mantiene bajo la norma de los límites máximos de descarga del TULSMA y de la OM, 0.5 mg/L. Dados los valores tan pequeños solamente se hizo este análisis en el primer muestreo.

Los sulfatos analizaron en M1, M2 y M3. Los valores referenciales de sulfatos en aguas residuales de origen doméstico varían en un rango de 20 mg/L a 50 mg/L (10). Los valores del efluente de ingreso a la PTAR están en M1 con 18 mg/L, M2 en 29 mg/L y para M3 en 30mg/L. La remoción de sulfatos tiene porcentajes de M1 con 45%, M2 con 55% y M3 con 23%. Esta reducción puede atribuirse a los procesos de generación de nuevas células dentro del reactor biológico. En los 3 casos la concentración cumple con los límites máximos permisibles de descarga para el TULSMA y la OM, de 1000 mg/L.

5.1.1.11 Fosfatos

Los fosfatos forman parte de los nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos. La estructura química más abundante de los fosfatos es el ortofosfato (10). Dentro del efluente quisero los valores para fosfatos en forma de orto fosfato van desde los 6 mg/L a los 500 mg/L (11).

El estudio de fosfato se realizó en M1 y M2. En M1, los valores estuvieron por sobre los límites máximos permisibles, 38 mg/L. En el efluente de ingreso a la PTAR el valor de ingreso es alto, 28 mg/L, esto se puede atribuir al alto contenido de proteínas dentro del efluente. Al llegar al

reactor biológico la concentración aumenta a 68mg/L, esto se debe a la descomposición de proteínas en el proceso de degradación por microorganismos (11). Durante la oxidación por bacterias el fósforo orgánico se transforma a ortofosfato. Al llegar al reactor biológico no hay un enriquecimiento de lodos y el fosfato no se fija en la biomasa por tanto no es eliminado (39). Dentro del clarificador se da una remoción del 40% de fosfato. Es decir, existe fijación de fosfato en la biomasa pero no es eficiente. Dentro de M2, los valores se encuentran alrededor de 2mg/L y 3mg/L. Los valores en el segundo muestro se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, 10mg/L (TULSMA y OM).

5.1.1.12 Nitrato

El nitrato es la forma más abundante del nitrógeno, junto con el amonio, dentro de las aguas residuales (10). La predominancia de nitrógeno como nitrato dentro de las aguas residuales indica estabilización del desecho orgánico (10)

Dentro de M1 los valores son muy bajos, menores que 0.5 mg/L. En M2, M3 y M4, los valores del efluente que ingresa son de 2mg/L, 1 mg/L y 1 mg/L. Se nota un aumento en el tanque de homogenización de 3 mg/L, 4mg/L y 4 mg/L, causado por la acumulación de efluente. Los valores de descarga son bajos de 2mg/L, 3 mg/L y 3mg/L. Tomando como referencia valores tan bajos de nitrato, entonces se puede decir que no existe estabilización de materia orgánica.

5.1.1.13 Amonio

Dentro de los procesos aerobios de lodos activados se puede dar la desnitrificación anóxica y aerobia. Durante la desnitrificación se consume el amonio presente en el efluente, como consecuencia de la descomposición de proteínas, y se va fijando a la biomasa (25). Dado que el amonio se usa para la producción de biomasa, se necesita hacer uso del sustrato soluble, DQO

soluble, por tanto la disminución de amonio involucra disminución de materia orgánica (39). El análisis de amonio se realizó en M3 y M4. En M3, el efluente ingresa con 97 mg/l, disminuye al llegar al reactor biológico donde pasa por el proceso de asimilación en la biomasa y finalmente termina con una remoción del 92%. En M4, las concentraciones de amonio son parecidas a M3, alcanza su valor más bajo después del tratamiento biológico y llega a un porcentaje remoción del 84%. Está ocurriendo desnitrificación.

5.1.1.14 Aceites y Grasas

Los aceites y grasas pueden funcionar como interferencias durante el tratamiento biológico (10). El análisis se realizó para M2 y M3. En M2 efluente ingresa con 387 mg/L. Al pasar por el desengrasador no hay diferencia en la concentración¹². El mayor porcentaje de remoción durante este muestreo se da en el clarificador 98%. Las grasas emulsificadas del efluente queso son consideradas sólidos coloidales, los sólidos coloidales se remueven por procesos de coagulación/floculación (28). En M3 el efluente ingreso con la concentraciones de grasas mas alto, pero en su paso por el desengrasador la remoción de los aceites y grasas fue de 73%. El desengrasador esta funcionando, a partir de este punto la concentración va disminuyendo hasta obtener una remoción final del 96%. El efluente final en ambos casos cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la OM, 50mg/L.

M1 y M2 son muestreos con problemas en el funcionamiento del desengrasador. Esto causa interferencias a lo largo del tratamiento de las aguas residuales. De la misma manera, el pH al que se ve sometido el reactor biológico durante ambos muestreos es un impedimento importante al momento de la degradación microbiológica del contaminante orgánico. El contenido de nitrato es bajo en ambos muestreos, por lo que hay una baja estabilización de materia orgánica. El

¹² Durante este muestreo el desengrasador estaba estancado, tenían problemas de natas en el tanque.

oxígeno disuelto se encuentra dentro de los valores óptimos para el funcionamiento de un reactor aerobio pero no es suficiente. Todos esto se muestra, finalmente, en los porcentajes de remoción de DQO total de 25% y 13%, los porcentajes de remoción de DQO soluble son de 7 % y 11%, no ha remoción de sustrato biodegradable. Ambos resultados son bajos para una PTAR de lodos activados¹³. El muestre M4, se mantiene ineficiente, los porcentajes de remoción de DQO total, DQO soluble, DBO son bajos.

M3 es el muestreo que muestra el mejor funcionamiento de la PTAR. Tiene un porcentaje de remoción de DOQ total de 86%, DQO soluble 84%, SST 77%, DBO 71%. Los valores de pH se encuentran en 7 y los valores de oxígeno disuelto tienen un gradiente positivo. El nitrato sigue siendo bajo, pero los porcentajes de remoción de amonio muestran procesos de desnitrificación. La disminución de amonio coincide con los valores de disminución de DQO soluble, esto se debe a que el amonio se fija en la biomasa por procesos de asimilación.

Ninguno de los 4 muestreos cumple con todos los límites máximos permisibles.

5.2 Estudio de lodos del bioreactor

El objetivo de estos experimentos es determinar el volumen de lodos activados que necesita el reactor biológico para una degradación de materia orgánica eficiente. Las variaciones de los volúmenes de lodos activados frente al volumen de agua residual y sus porcentajes se encuentran especificadas en la Tabla 6 de la metodología, la cual se presenta a continuación.

¹³ La remoción de DQO debe estar alrededor de 85 % - 90%.

Tabla 6 Variaciones del volumen de lodos en el reactor biológico.

| # de Reactor | Volumen de lodos aerobios (mL) | Volumen total del reactor (mL) | % de lodos activados |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1. | 16 | 800 | 2 |
| 2. | 40 | 800 | 5 |
| 3. | 80 | 800 | 10 |
| 4. | 120 | 800 | 15 |
| 5. | 160 | 800 | 20 |
| 6. | 240 | 800 | 30 |

Para el montaje de este experimento se usaron aguas residuales crudas de la holandesa, cuyas características se especifican en la Tabla 22.

Se realizó el monitoreo de la DQO total y DQO soluble para determinar la eficiencia de remoción y la población de microorganismos. La DQO particulada representa, junto con los VSS, la población microbiana dentro de un efluente; hay que tomar en cuenta que además de esto también está constituida por materia orgánica lentamente biodegradable (10). La DQO particulada es la resta entre la DQO total y DQO soluble (40).

En el Gráfico 1 se observa los valores de DQO total durante las 24 horas de monitoreo de los 6 reactores analizados, en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar la variación de la DQO soluble respecto al tiempo de monitoreo de los 6 reactores y en el Gráfico 3 la variación de la DQO particulada respecto al tiempo. La diferencia entre ambas representa el DQO particulada la cual representa la concentración de biomasa activa en un proceso de degradación (40).

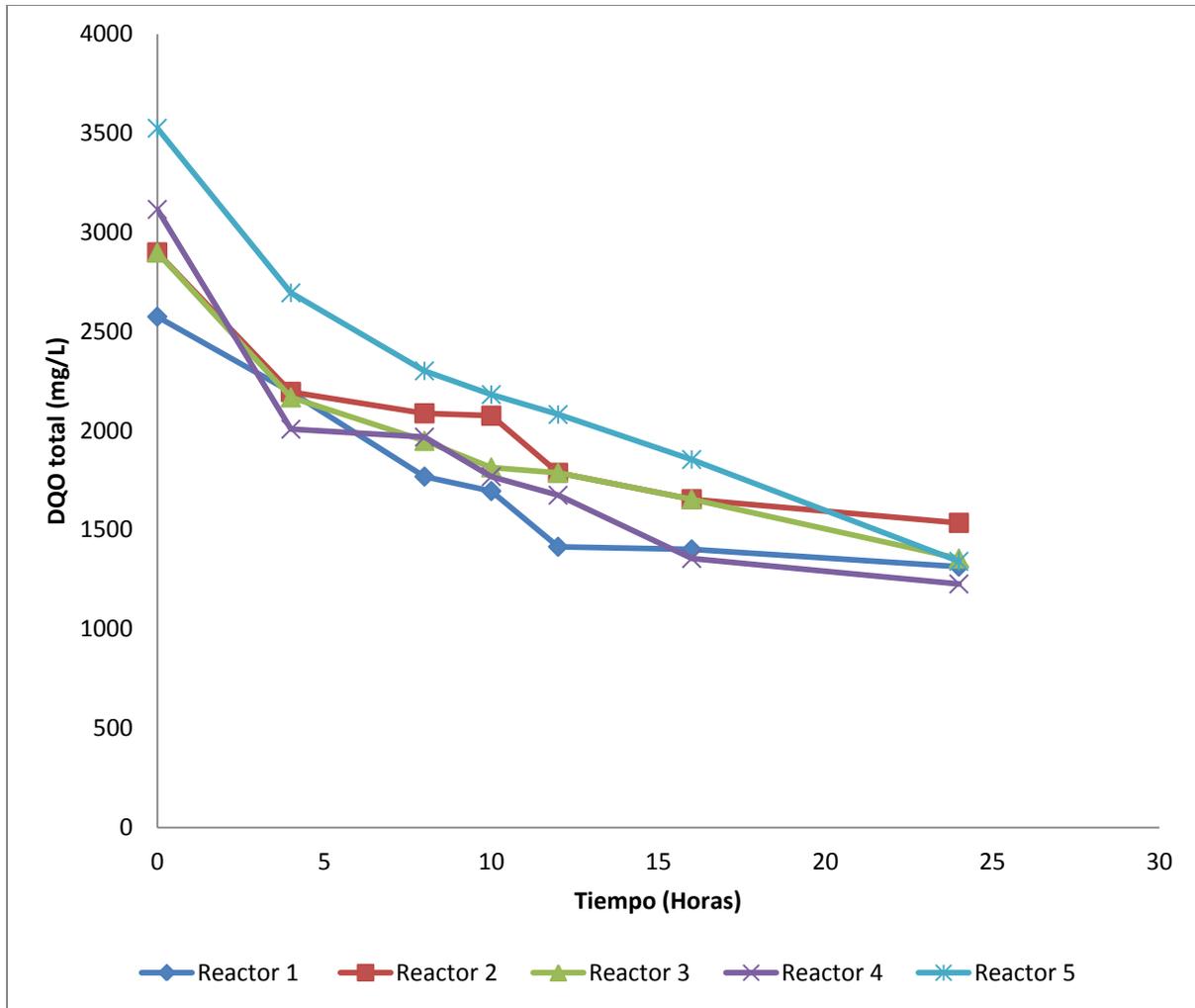


Gráfico 1 ¹⁴Variación de la DQO total respecto al tiempo (24 horas), de los 6 reactores de prueba

¹⁴ El reactor 6 fue eliminado de la prueba por errores de análisis experimental.

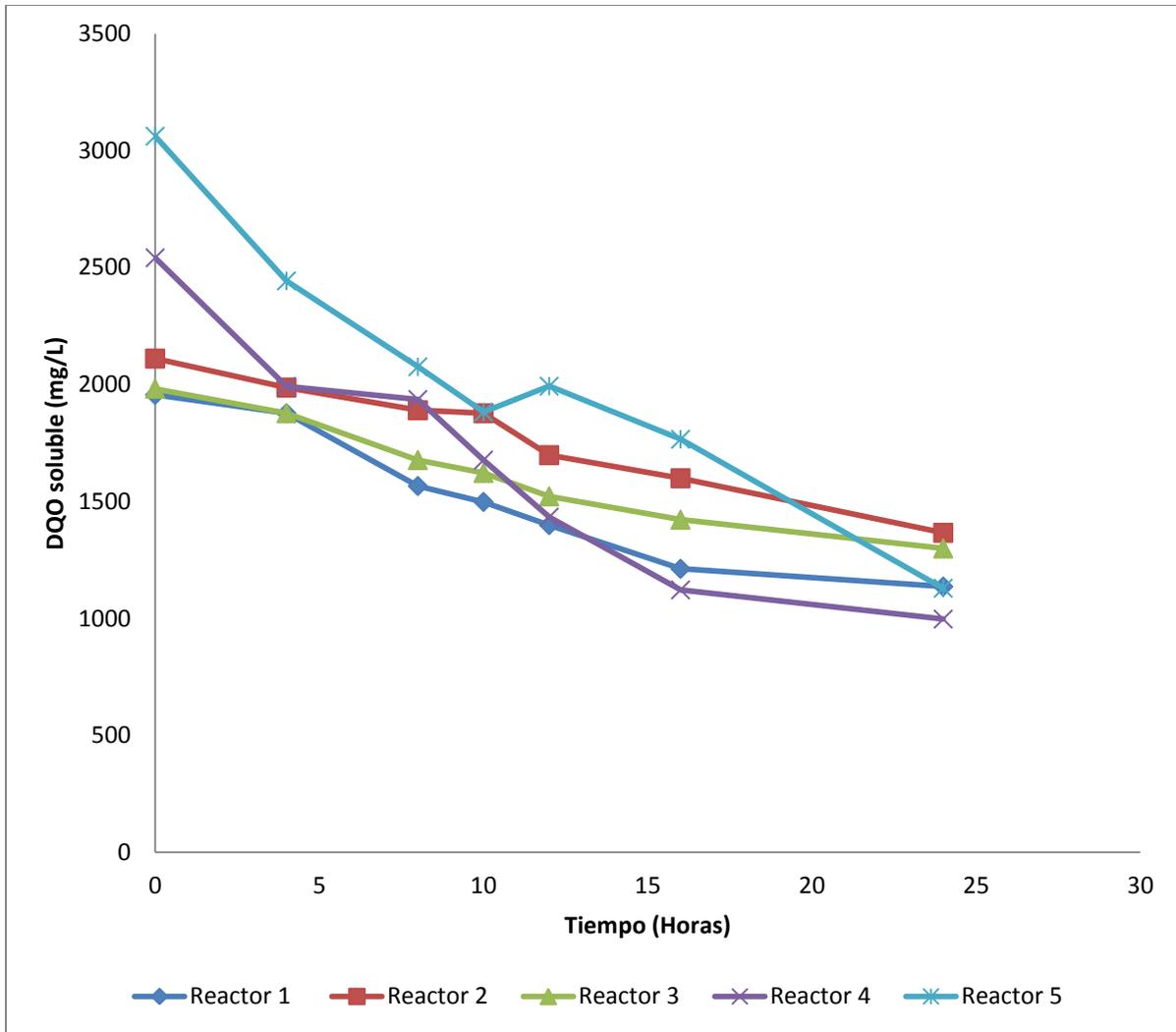


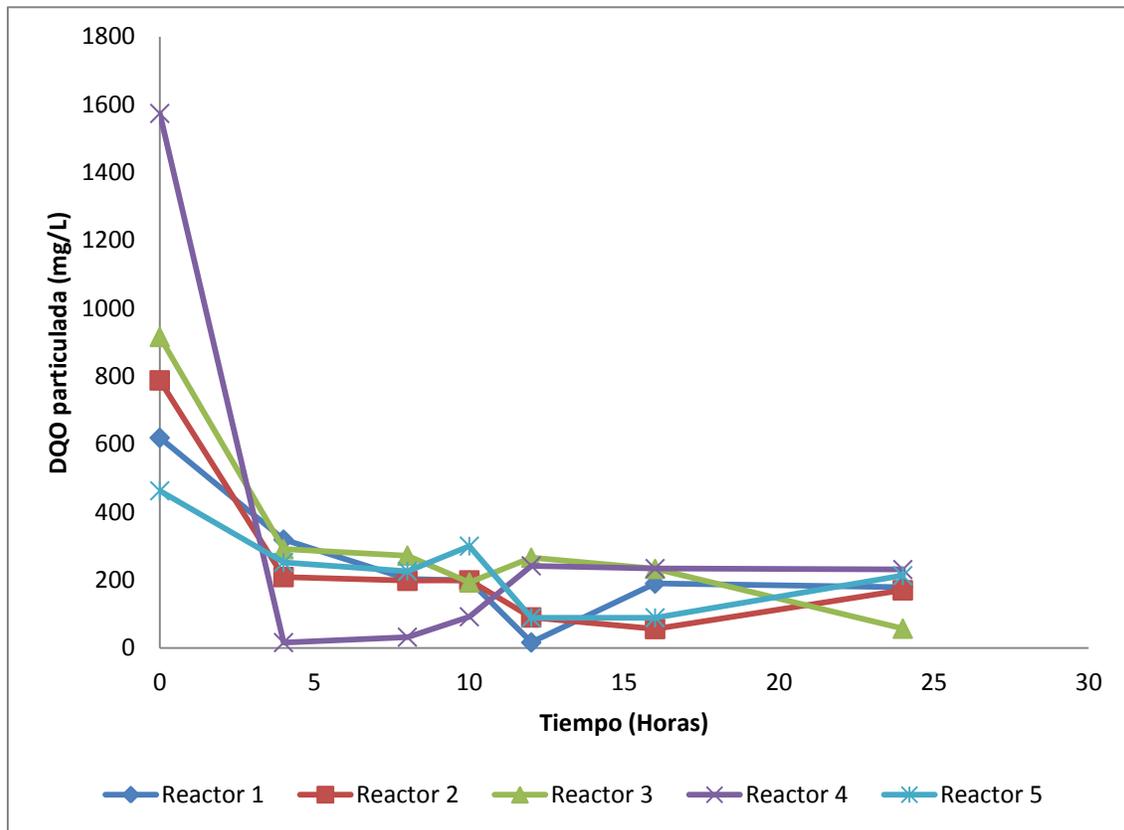
Gráfico 2 Variación de la DQO soluble respecto al tiempo (24 horas), de los 6 reactores de prueba

Paralelamente al estudio de estos 3 parámetros se evaluó, ST, SV, SST, SSV, amonio, nitrato y fosfato. Los resultados de estos parámetros se encuentran en Tabla 19 y Tabla 20.

Se puede observar que existe la misma tendencia en los 5 reactores en cuanto a DQO total y DQO soluble, los valores tienden a disminuir. Esta disminución representa degradación de materia orgánica del efluente (10). Para Reactor 1, el porcentaje de remoción de DQO total y

DQO soluble es del 50% y la DQO particulada disminuye junto con los SSV. Es decir la concentración de biomasa activa no aumenta. Hay una disminución de SST del 30%.

Gráfico 3 Variación de la DQO particulada respecto al tiempo (24 horas), de los 6 reactores de prueba



A medida que ocurre la degradación de componentes orgánicos como proteínas el amonio aumenta (39). En Reactor 1 no hay variación pronunciada de amonio, pero sí de fosfatos. Hay proceso de degradación de materia orgánica fácilmente biodegradable por el aumento de fosfatos. No hay desnitrificación, el amonio no está siendo usado por el sistema. No hay producción de biomasa. La presencia de sólidos suspendidos (grasas) dificulta la actividad biológica (33) por esto no aumenta la DQO particulada.

En Reactor 2, hay la misma tendencia de disminución, pero no alcanza el 85% de remoción establecido por (20). No hay aumento en la concentración de biomasa activa esta disminuye de 780 mg/L a 170 mg/L. El fosfato aumenta de 7 mg/L a 16 mg/L, el nitrato y el amonio mantienen sus concentraciones.

Para Reactor 3, la remoción de DQO soluble y DQO total sigue el mismo patrón. La DQO particulada tiene una remoción final del 93%. No hay crecimiento de lodos activados. Hay una disminución de fosfato del 76% . El amonio y el nitrato no sufren alteración en su concentración. El fosfato es usado durante la síntesis de tejido celular.

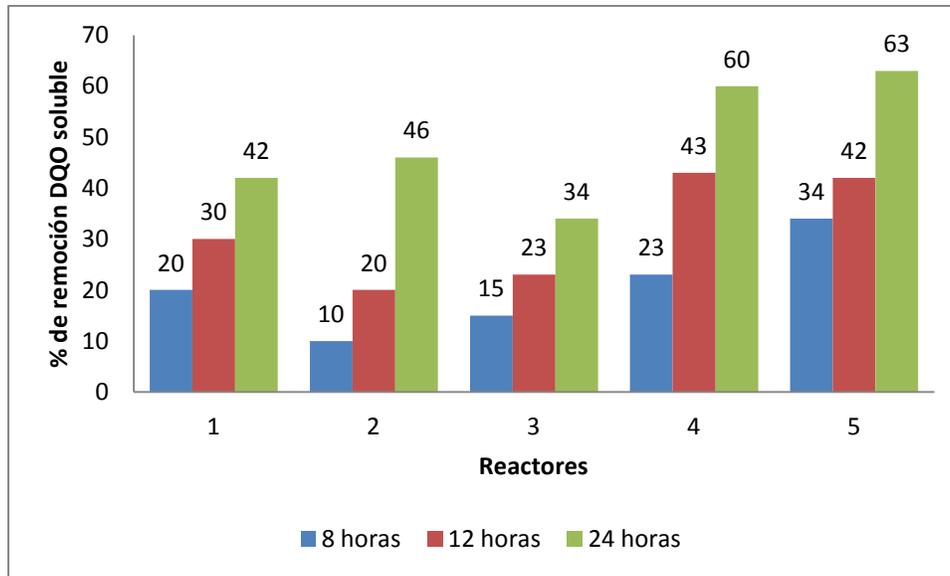
En Reactor 4, la DQO sigue la misma tendencia de los reactores anteriores. No hay aumento en la DQO particulada, pero el porcentaje de remoción de la misma es 10% menor a la del Reactor 3, los SSV tienen menor porcentaje de remoción. No hay disminución de ST, existen todavía altas cantidades de material inerte dentro del efluente.

En el Reactor 5 la remoción de la DQO particulada es de un 53%. La remoción del DQO soluble es mayor a la del Reactor 4, por tanto hay digestión de materia orgánica fácilmente biodegradable. No hay una disminución mayor al 15% de los sólidos volátiles. Este reactor poseía un 30% de lodos equivalente a 200 mL de lodos por cada reactor. El Reactor 5 fue el escogido por sus porcentajes de remoción de DQO soluble y DQO particulada. Por la disminución de sólidos totales y volátiles.

Si vemos el Gráfico 4, es en el Reactor 5 en el que se ve el porcentaje de remoción más alto a las 24 horas. Además la pendiente entre las 12 y las 24 horas es la más alta de los 5 reactores. Dentro de la gráfica de barras se puede ver las pendientes causadas por el cambio de

concentración. En el caso del último experimento se podría decir que tiene la velocidad más alta de remoción al tener casi 3% cada hora

Gráfico 4 Porcentajes de remoción de DQO soluble respecto a las 8, 12 y 24 horas.



En la Tabla 19, se especifican los valores de los fosfatos, nitratos y amonio de los 6 reactores cada 13 horas.

Tabla 19 Variaciones de cada 13 horas para Fosfato, Nitrato y Amonio de los 6 reactores

| | Fosfatos [mg/L] | | Nitrato [mg/L] | | Amonio [mg/L] | |
|-----------|-----------------|------|----------------|--------|---------------|------|
| | 0 h | 13 h | 0 h | 13 h | 0 h | 13 h |
| Reactor 1 | 10 | 27.9 | < 0.01 | < 0.01 | 18 | 19 |
| Reactor 2 | 7.4 | 16.7 | 0.037 | < 0.01 | 16 | 17 |
| Reactor 3 | 26.6 | 6 | < 0.01 | < 0.01 | 15 | 16 |
| Reactor 4 | 14 | 30.8 | 0.045 | < 0.01 | 15 | 18 |
| Reactor 5 | 65.9 | 18.9 | 0.039 | < 0.01 | 15 | 20 |
| Reactor 6 | 40 | 10.2 | 0.039 | 0.055 | 14 | 22 |

Tabla 20 Variaciones de cada 12 horas de ST, SST, SV y SSV de los 6 reactores

| REACTOR 1 | 0 h | 12 h | 24 h |
|------------------------|------|------|------|
| ST[mg/L] | 2304 | 2228 | 2480 |
| SST[mg/L] | 685 | 587 | 478 |
| SV[mg/L] ¹⁵ | 970 | 896 | 1133 |
| SSV[mg/L] | 685 | 564 | 464 |

| REACTOR 4 | 0 h | 12 h | 24 h |
|-----------|------|------|------|
| ST[mg/L] | 2913 | 2866 | 2840 |
| SST[mg/L] | 1000 | 871 | 800 |
| SV[mg/L] | 1453 | 1420 | 1240 |
| SSV[mg/L] | 985 | 864 | 785 |

| REACTOR 2 | 0 h | 12 h | 24 h |
|-----------|------|------|------|
| ST[mg/L] | 2632 | 2271 | 2480 |
| SST[mg/L] | 685 | 657 | 464 |
| SV[mg/L] | 1305 | 893 | 1292 |
| SSV[mg/L] | 928 | 642 | 457 |

| REACTOR 5 | 0 h | 12 h | 24 h |
|-----------|------|------|------|
| ST[mg/L] | 3443 | 2810 | 2756 |
| SST[mg/L] | 764 | 692 | 635 |
| SV[mg/L] | 1872 | 1800 | 1250 |
| SSV[mg/L] | 721 | 692 | 614 |

| REACTOR 3 | 0 h | 12 h | 24 h |
|-----------|------|------|------|
| ST[mg/L] | 2938 | 3008 | 2700 |
| SST[mg/L] | 1207 | 828 | 678 |
| SV[mg/L] | 1529 | 1431 | 1066 |
| SSV[mg/L] | 1185 | 828 | 671 |

| REACTOR 6 | 0 h | 12 h | 24 h |
|-----------|------|-------|------|
| ST[mg/L] | 3920 | 33340 | 3093 |
| SST[mg/L] | 871 | 707 | 635 |
| SV[mg/L] | 2180 | 1783 | 1513 |
| SSV[mg/L] | 864 | 685 | 614 |

Durante los experimentos de los reactores y dentro del funcionamiento de la planta, la remoción de DQO no llega a superar el 85% establecido por la bibliografía (20), por lo que se buscó una razón para la ineficiencia. Dentro de los reactores menor volumen de lodos se vio un cambio drástico en el color de los lodos y en su volumen. Este cambio, se sugiere, es por el alto contenido orgánico dentro del efluente. Con el fin de aumentar la eficiencia de los reactores se usó medio basal mineral. Al usar medio basal mineral se facilita el acceso de los microorganismos a un sustrato de fácil digestión pero con la misma concentración, evitando la auto digestión de lodos e incentivando la digestión del contaminante en las aguas residuales originales (39). A esta etapa se la puede llamar aclimatación, se está exponiendo a los lodos a un efluente con concentración de DQO 4000 mg/, equivalente a un efluente queso (11).

¹⁵ Inconsistencia en el análisis experimental.

El objetivo de este experimento es determinar el volumen máximo de aguas residuales que se pueden mezclar con medio basal mineral, para el cual los lodos se estabilicen y aumenten volumen de sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de lodos activados dentro de una muestra de efluente (39).

Como resultado del monitoreo de la variación de lodos el volumen de la mezcla lodos/agua residual disminuyó. Para aumentar el volumen se recolectó nuevos lodos provenientes de una faenadora. No se usaron de la holandesa por las deficiencias de la PTAR y el bajo contenido de lodos activados en su reactor biológico. Los nuevos lodos se mezclaron con los restantes del monitoreo y se los aclimató. Las características de los lodos activados usados para los experimentos de volumen de medio basal se detallan en la Tabla 21.

Tabla 21 Características de los lodos utilizados para el montaje del bioreactor, antes de las 24 horas de aireación y después de las 24 horas de aireación, durante el proceso de crecimiento

| Parámetro | 0 h Aireación | 24 horas Aireación |
|--------------------|----------------------|---------------------------|
| SST (mg/L) | 8667 | 8667 |
| SSV (mg/L) | 7500 | 7556 |
| ST (mg/L) | 10678 | 11116 |
| SV (mg/L) | 7020 | 7244 |
| DQO TOTAL (mg/L) | 1102 | 702 |
| DQO SOLUBLE (mg/L) | 417 | 302 |
| Nitrato (mg/L) | 174 | 265 |

Tabla 22 Características del efluente de la quesera usado en el montaje del reactor

| Parámetro | Concentración |
|--------------------|----------------------|
| SST (mg/L) | 1778 |
| SSV (mg/L) | 1578 |
| ST (mg/L) | 2813 |
| SV (mg/L) | 1791 |
| DQO TOTAL (mg/L) | 3785 |
| DQO SOLUBLE (mg/L) | 1535 |
| Nitrato (mg/L) | 72.2 |

Dentro de la Tabla 21, podemos ver alta concentración de SSV de 7500 mg/L, por tanto biomasa activa (10). La diferencia entre SST y SSV es pequeña por tanto hay poca , materia inerte (20). La concentración de nitrato es alta y aumenta después de 24h de aireación, por tanto hay estabilización de materia orgánica (10). El DQO total es 1102 mg/L, existe materia orgánica biodegradable. Los lodos están degradando el componente orgánico del efluente, hay disminución de a DQO soluble. Dentro de la tabla 20, podemos ver que en el efluente la DQO se encuentra dentro de los valores típicos de una quesera, entre 10000mg/L y 50000 mg/L (11). Hay poco material inerte, la diferencia entre SST y SSV es de apenas 200 mg/L.

Para determinar las proporciones de medio basal mineral y agua residual, se usó como valor fijo 200 mL de lodos. El experimento se realizó con 5 reactores. Se realizó 3 variaciones del volumen de medio basal en porcentajes: 100% de medio basal mineral (Experimento A), 80% de medio basal con 20% de agua residual (Experimento B) y 60% de medio basal mineral con 40% de agua residual (Experimento C). El volumen total de efluente es de 800 mL. Se realizó monitoreo de DQO total y soluble al inicio y al final de las 24 horas de aireación (2 mg/L).

Durante el Experimento A el porcentaje promedio de remoción de DQO total y DQO soluble es de 47% y 37% respectivamente. Hay degradación de materia orgánica biodegradable pero su

porcentaje de remoción es bajo. La DQO particulada disminuye, la población de microorganismos no muestra una tendencia, solamente disminuye. Se busca una remoción mayor de DQO soluble. Como se puede observar en la Ilustración 1, el objetivo sobre la clarificación del efluente se logró pero el volumen de lodos sedimentados es bajo.

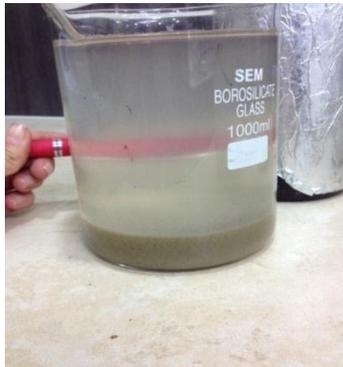


Ilustración 1 Efluente resultante del Experimento A.

En el Experimento B, el porcentaje de remoción de la DQO soluble es de 51%, mientras que la DQO total llega al 30%. Los lodos están digiriendo la materia orgánica en mayores proporciones que en el Experimento A. El objetivo de sobre los sólidos coloidales en el efluente se alcanzó, el efluente fue clarificado y aumentó el volumen de lodos en el efluente. Como se puede observar en Ilustración 2 la consistencia de los lodos es concentrada, tienen un color blanquecino y aumentaron en volumen.



Ilustración 2 Efluente resultante del Experimento B.

En el Experimento C, el porcentaje de remoción de la DQO soluble es de 20%, mientras que la DQO total llega al 32%. El porcentaje de remoción de la DQO soluble es la más baja de los 3 experimentos. El efluente se ve turbio, con abundante material coloidal suspendido, los lodos disminuyeron su volumen y cambio nuevamente el color. En la Ilustración 3 se puede observar el efluente de este experimento.



Ilustración 3 Efluente resultante del Experimento C.

Se escogió la segunda variación por tener el porcentaje de remoción de la DQO soluble más alto, por el aumento de los sólidos sedimentables y por la claridad del efluente. Las proporciones volumétricas quedaron: 640 mL de medio basal mineral y 160 mL de agua residual cruda.

Dentro de la Tabla 23 se observan las variaciones de la DQO total DQO soluble y los porcentajes de remoción del experimento A, B, y C.

Tabla 23 Variaciones DQO total y DQO soluble respecto a las variaciones dentro de los experimentos A, B y C y sus porcentajes de remoción final

a) Experimento A

| 100% De Medio | | | | 100% De Medio | | | |
|---------------|---------------|---------------|--|------------------------|-----------------|---------------|--|
| DQO Total (i) | DQO Total (f) | % de remoción | | DQO Soluble (i) (mg/L) | DQO Soluble (f) | % de remoción | |
| | | | | | | | |

| | (mg/L) | (mg/L) | | | | (mg/L) | |
|---|--------|--------|----|---|------|--------|----|
| 1 | 6535 | 3375 | 35 | 1 | 3043 | 1975 | 48 |
| 2 | 5735 | 4025 | 56 | 2 | 3981 | 1725 | 30 |
| 3 | 5485 | 3475 | 45 | 3 | 2981 | 1625 | 36 |
| 4 | 5585 | 3375 | 66 | 4 | 4231 | 1425 | 40 |
| 5 | 4635 | 3325 | 33 | 5 | 2981 | 1975 | 30 |

b) Experimento B

| | 20% A.R. 80% De Medio | | | | | 20% A.R. 80% De Medio | | |
|---|------------------------------|----------------------|---------------|---|------|------------------------------|------------------------|---------------|
| | DQO Total (i) (mg/L) | DQO Total (f) (mg/L) | % de remoción | | | DQO Soluble (i) (mg/L) | DQO Soluble (f) (mg/L) | % de remoción |
| 1 | 4725 | 3325 | 30 | 1 | 3025 | 1275 | 57 | |
| 2 | 4675 | 3125 | 33 | 2 | 2875 | 1124 | 60 | |
| 3 | 5225 | 3125 | 40 | 3 | 2775 | 1225 | 40 | |
| 4 | 4475 | 3675 | 20 | 4 | 2925 | 1125 | 20 | |
| 5 | 4875 | 3575 | 26 | 5 | 2975 | 1475 | 26 | |

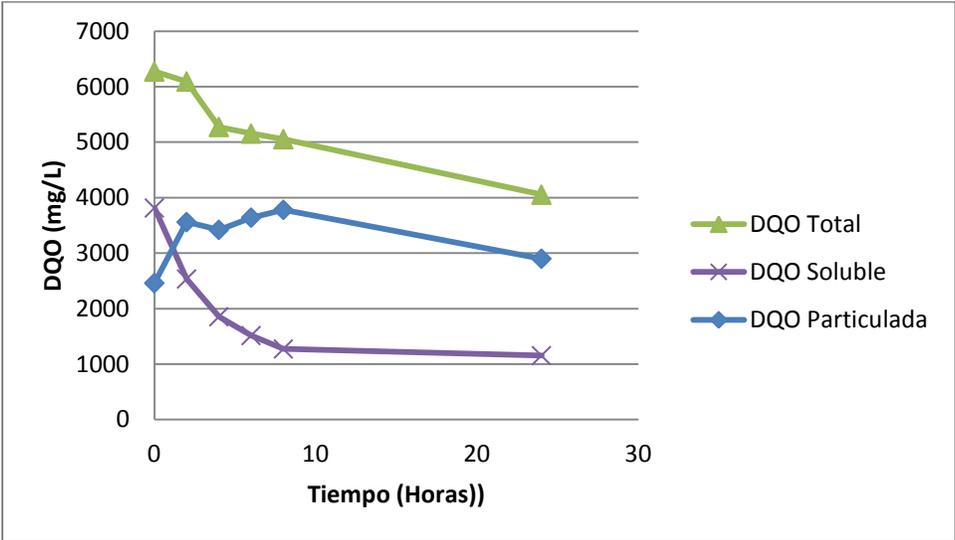
c) Experimento C

| | 40% A.R. 60% De Medio | | | | | 40% A.R. 60% De Medio | | |
|---|------------------------------|------------------------|---------------|---|------|------------------------------|----------------------|---------------|
| | DQO Soluble (i) (mg/L) | DQO Soluble (f) (mg/L) | % de remoción | | | DQO Total (i) (mg/L) | DQO Total (f) (mg/L) | % de remoción |
| 1 | 1225 | 1025 | 16 | 1 | 2725 | 1025 | 62 | |
| 2 | 1125 | 925 | 18 | 2 | 3175 | 1325 | 58 | |
| 3 | 1125 | 875 | 22 | 3 | 3025 | 1525 | 50 | |
| 4 | 1225 | 925 | 24 | 4 | 3025 | 1675 | 45 | |
| 5 | 1025 | 1025 | 0 | 5 | 3125 | 1725 | 45 | |

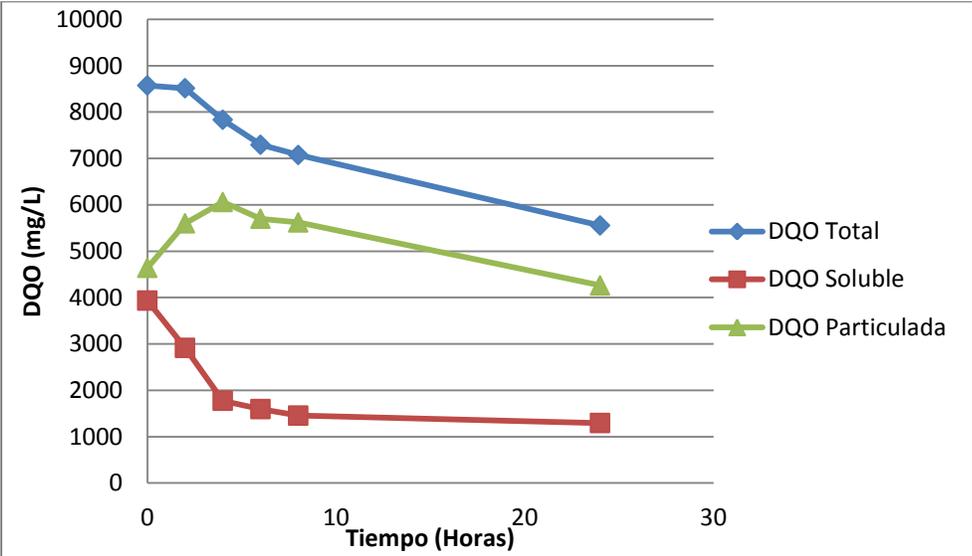
Para corroborar la eficiencia del Experimento B, se realizó el monitoreo de 2 reactores (C1 y C2). Se evaluó DQO soluble y DQO total para el estudio de los procesos de degradación y el aumento de la biomasa activa. En el Gráfico 5 se observa la variación de ambos parámetros según el tiempo.

Gráfico 5 Variación de DQO total, DQO soluble y DQO particulada de C1 y C2, bajo las proporciones establecidas en el experimento B (80% medio basal y 20% aguas residuales crudas)

a) C1



b) C2



En C1 y C2, se puede ver que la degradación de materia orgánica biodegradable es alta, de 69% y 72% respectivamente. La DQO total también disminuye, pero la DQO soluble lo hace de forma mayor. En el comportamiento de la DQO particulada que representa la biomasa activa, se observa un aumento inicial y después la estabilización de su concentración, nos da indicios de que la población de microorganismos se encuentra estable. Finalmente, como se puede ver en Ilustración 4, ambos reactores muestran un volumen considerable de sólidos sedimentables y un efluente clarificado.



Ilustración 4 Efluente de los reactores C1 y C2.

Para terminar con el proceso de aclimatación y determinar las condiciones óptimas para la remoción de DQO, el objetivo de esta última etapa es determinar el volumen máximo de dilución del efluente bajo el cual el reactor aumenta el grado de remoción, el grado de clarificación y el volumen de sólidos sedimentables. Paralelamente, se busca ir disminuyendo el volumen de medio basal mineral y reemplazarlo por la dilución del agua residual con de agua potable; de esta manera permitirle a las bacterias digerir el efluente original y no solo la lactosa. Se usa agua

potable para disminuir la concentración de sólidos coloidales que puedan estar causando interferencia en el proceso.

El experimento se realizó en 2 reactores (A1 y A2). Las variaciones se encuentran especificadas en la Tabla 9 Variaciones de las proporciones entre agua potable, medio basal mineral, aguas residuales y lodos de los reactores RI y R2. Con el fin de aclarar los valores la tabla se detalla a continuación.

Tabla 9 Variaciones de las proporciones entre agua potable, medio basal mineral, aguas residuales y lodos de los reactores RI y R2.

| Variación | | Agua Potable (%) | Medio Basal (%) | Agua Residual (%) | Lodos (mL) |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | % respecto a 800 mL de Vol. | 20 | 60 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 160 | 480 | 160 | 200 |
| 2 | % respecto a 800 mL de Vol. | 25 | 55 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 200 | 440 | 160 | 200 |
| 3 | % respecto a 800 mL de Vol. | 30 | 50 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 240 | 400 | 160 | 200 |
| 4 | % respecto a 800 mL de Vol. | 40 | 40 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 320 | 320 | 160 | 200 |
| 5 | % respecto a 800 mL de Vol. | 45 | 35 | 20 | |
| | Volumen (mL) | 280 | 360 | 160 | 200 |

Se monitoreó DQO total y DQO soluble cada 24 horas. Otro parámetro guía es el volumen y las características visuales de los sólidos sedimentables.

En la Tabla 24 se pueden ver los resultados del experimento en ambos reactores al inicio y al final de cada monitoreo y los porcentajes de remoción según los valores de DQO total y DQO soluble.

Tabla 24 Resultados DQO total y DQO soluble de las variaciones usadas para el estudio del volumen de dilución del efluente y porcentajes de remoción de cada una.

| Variación | A2 | | A2 | | | |
|-----------|------------------|---------------|------------------|---------------|------|----|
| | DQO total (mg/L) | % de Remoción | DQO total (mg/L) | % de Remoción | | |
| | i | 4520 | i | 5070 | | |
| 1 | f | 4120 | 9 | f | 4770 | 6 |
| | i | 5375 | i | 6650 | | |
| 2 | f | 4775 | 11 | f | 5720 | 14 |
| | i | 6725 | i | 6800 | | |
| 3 | f | 5750 | 14 | f | 5620 | 17 |
| | i | 5150 | i | 5250 | | |
| 3 | f | 3875 | 25 | f | 3920 | 25 |
| | i | 5875 | i | 5575 | | |
| 3 | f | 4250 | 28 | f | 3987 | 28 |
| | i | 6220 | i | 5250 | | |
| 4 | f | 5220 | 16 | f | 3920 | 25 |
| | i | 6850 | i | 4820 | | |
| 4 | f | 5975 | 13 | f | 3920 | 19 |
| | i | 6670 | i | 4620 | | |
| 4 | f | 6170 | 7 | f | 3920 | 15 |

| Variación | A1 | | A2 | | | |
|-----------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|-----|----|
| | DQO soluble (mg/L) | % de Remoción | DQO soluble (mg/L) | % de Remoción | | |
| | i | 820 | i | 620 | | |
| 1 | f | 543 | 34 | f | 321 | 48 |

| | | | | | | |
|---|----------|------|----|----------|------|----|
| | i | 2125 | | i | 1120 | |
| 2 | f | 789 | 63 | f | 320 | 71 |
| | i | 2400 | | i | 3175 | |
| 3 | f | 850 | 65 | f | 820 | 74 |
| | i | 1900 | | i | 3200 | |
| 3 | f | 675 | 65 | f | 670 | 79 |
| | i | 970 | | i | 2350 | |
| 3 | f | 220 | 77 | f | 320 | 86 |
| | i | 2675 | | i | 4170 | |
| 4 | f | 900 | 66 | f | 770 | 81 |
| | i | 2825 | | i | 2100 | |
| 4 | f | 1123 | 60 | f | 420 | 80 |
| | i | 820 | | i | 2125 | |
| 4 | f | 456 | 44 | f | 770 | 63 |

En A1 la variación 3 es la que mayor porcentaje de remoción sobre DQO total, tiene con un 24 % y 27%. En la DQO soluble igualmente llega a 77%. Durante el experimento la variación 4 disminuye el porcentaje de remoción y los sólidos sedimentables disminuían en volumen. En A2 la variación 3 tiene el mismo efecto, es la variación con mayor porcentaje de remoción en DQO total y DQO soluble. Con esta variación ambos reactores mantiene buenas características visuales y un volumen considerable de sólidos sedimentables. A medida que aumenta el tiempo dentro bajo el cual los lodos se ven expuestos a la variación 3, el porcentaje de remoción aumenta. El tiempo aproximado de aclimatación es de 15 días.

Finalmente se escogió la variación 3, la cual determinó un volumen de 240 mL de agua potable para diluir 160mL de agua residual.

Las condiciones óptimas de funcionamiento se establecieron en: 200 mL de lodos activados, 240 mL de agua potable, 160 mL de agua residual y 400 mL de medio basal mineral (DQO total de 4000 mg/L).

5.3 Estudio del efecto de la carga orgánica

Después de que se determinó las condiciones óptimas de operación de un reactor biológico que degrada efluente queso, se realizó el estudio del efecto de la carga orgánica sobre los porcentajes de remoción de la DQO total y soluble.

El objetivo de este experimento fue determinar cuál es la máxima carga orgánica bajo la cual los porcentajes de remoción de la DQO total y soluble se mantienen altos, cercanos a los establecidos por la bibliografía de 85% a 95% (20).

Se realizó el experimento en 3 reactores CO1, CO2, y CO3. Se los mantuvo bajo procesos de aireación con 8 horas de sedimentación como variable fija. Se valuó la DQO soluble y DQO total para el estudio de la degradación de materia orgánica y la cinética microbiana. En la Tabla 10 se establecen las 3 variaciones a las que se sometió el efluente. Para variar la carga orgánica se modificó los volúmenes de medio basal, de aguas residuales y de agua potable.

Tabla 10 Variaciones de la concentración de DQO y en los tiempos de aireación para los reactores en la prueba del efecto de la carga orgánica.

| # Experimento | Carga Orgánica (DQO mg/L) | Volumen de Medio Basal Mineral (mL) | Volumen de Aguas Residuales (mL) | Tiempo de aireación (h) | Intervalos de monitoreo (h) | Volumen de lodos activados (mL) | Volumen de agua potable (mL) |
|---------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| CB | 1500 | 150 | 60 | 8 | 1 | 200 | 590 |
| CM | 2000 | 200 | 80 | 12 | 1.5 | 200 | 520 |
| CMA | 3000 | 300 | 120 | 18 | 2 | 200 | 380 |

En la DQO total, como se muestra en la Tabla 25, la variación con mayor porcentaje de remoción de la DQO total es CMA, aunque en las tres variaciones los porcentajes de remoción

son bajos hay remoción de DQO. Uno de los motivos de este fenómeno puede estar en la presencia de grasas y proteínas que entran en el grupo de moléculas lentamente biodegradables.

En la DQO soluble, como se muestra en la

Tabla 26, la variación con mayor porcentaje de remoción sigue siendo la variación CA. Hay una alta remoción de materia orgánica biodegradable con un porcentaje de remoción del 80%, 63% y 58%.

Una de las condiciones que se busca es el aumento de la biomasa activa medida por la DQO particulada, dentro de las tres variaciones la concentración de esta permanece estable. Además de esto, como se puede ver en las tablas Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31, los valores de remoción de amonio, aumento de nitrato y disminución de fosfato son mayores para CMA, lo que nos da indicios que es en esta variación que se están dando proceso de asimilación de fosfato para la síntesis de nuevo tejido celular y proteínas (10), procesos de desnitrificación para el consumo de amonio y además el uso de amonio para la producción de biomasa activa. En CB, el consumo de amonio no es pronunciado, disminución de 1mg/L que puede atribuirse a variación en el efluente y tampoco el de fosfato que supera el 10% de su concentración inicial. En CM, los valores no son representativos, no hay consumo de amonio ni de fosfatos.

Tabla 25 Porcentajes de remoción de DQO total para cada variación de carga orgánica.

| Reactores | % de remoción DQO Total (mg/L) | | |
|-----------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| | CB (% de remoción) | CM (% de remoción) | CA (% de remoción) |
| A | 26 | 23 | 22 |
| B | 18 | 31 | 30 |
| C | 23 | 27 | 31 |

Tabla 26 Porcentajes de remoción de DQO soluble para cada variación de carga orgánica

| Reactores | % de remoción DQO Total (mg/L) | | |
|-----------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| | CB (% de remoción) | CM (% de remoción) | CA (% de remoción) |
| A | 59 | 64 | 51 |
| B | 34 | 55 | 47 |
| C | 58 | 63 | 80 |

La carga orgánica con mejores resultados fue CMA, hay remoción de compuestos solubles como es fosfato y amonio, los cuales son usados para la producción de biomasa activa y tejido celular. El porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable es el más alto de las 3 variaciones. El efluente tiene bajo contenido de sólidos en suspensión, se está clarificando el efluente y el volumen de sólidos sedimentables se mantiene estable, a diferencia de las dos primeras que disminuyó. Esto se puede atribuir al hecho de que las bacterias ya están aclimatadas a cierto efluente, al disminuir carga orgánica en cantidades muy altas estos comienzan a auto digerirse en lugar de producir más biomasa activa como es el caso de CMA.

6 CONCLUSIONES

La caracterización del efluente dio como resultado aguas residuales con un DQO por sobre los 3000 mg/L, alto y con pronunciadas concentraciones de grasas y aceites como se muestra en las tablas 12, 13 y 14. .

La evaluación de la PTAR se realizó por medio de 4 diferentes estudios. Dentro de los 4 diferentes estudios los procesos de remoción de grasas, clarificación y degradación de materia orgánica, se encuentran por encima de los límites permisibles, ningun cumple con la norma..

- La conductividad es un indicador de la descomposición de grasas dentro del tratamiento, por su descomposición en iones. Como se muestra en las tablas 11, 12, 13 y 14, en M2 y

M3 hay un aumento drástico de la conductividad a la salida del desengrasador, al estar el agua estancada, las grasas se están descomponiendo.

- Como se puede observar en la tabla 15, el mayor porcentaje de remoción de la DQO total esta en M3. Mientras que el menor se encuentra en M2. Si analizamos todos los parámetros en conjunto, vamos a ver que es M3 el muestreo con los porcentajes de remoción más altos, por tanto las mayores eficiencias. Igualmente, en la tabla 16, podemos ver que es M3 con el 86% de remoción. Esto puede deberse a que las condiciones ambientales se encuentran favorables: el pH se encuentra dentro de los límites óptimos, el oxígeno disuelto es de 2 mg/L y además la temperatura más alta de los 4 muestreos se da durante M3. (Todos estos datos se reflejan en las tablas 11, 12, 13 y 14). De la misma manera los SST llegan a un 77% de remoción y la DBO, aunque no con los valores más altos de remoción, si tiene un porcentaje considerable (71% , en la tabla 18). Estos valores de remoción altos también pueden atribuirse a buenos procesos de clarificación en el clarificador secundario y además a que según los porcentajes de remoción de grasas se encuentran en el 96% por lo que hay bajas concentraciones de aceites y grasas que puedan actuar como interferencias.
- Para el estudio del volumen de lodos óptimo para un bioreactor de efluente lácteo logramos ver, según la gráfica 1, que el mejor volumen para un reactor de 1L se encuentra en el 20% de lodos sobre su volumen total. Equivalente a 200 mL. Los valores de la degradación aumentan a partir del 15%, según gráfico 4, y la velocidad de consumo de sustrato es mayor en el reactor 5. Igualmente, se puede ver en la tabla 19, que los iones de fosfato y nitrato disminuyen y amonio aumenta en un 30%, lo que significa que existe degradación de proteínas.

- Durante 1 etapa de la determinación del volumen de medio basal necesario para la estabilidad de los lodos activados, se puede ver que al estar estos acostumbrados la presencia de lactosa y grasas, al no haber estos componentes no crecen. (Ilustración 1), pero al haber un exceso, mueren por la alta carga orgánica y se da paso a la respiración endógena. Se determinó como proporciones finales 20% de aguas residuales y 80% de medio basal mineral, esta composición aumento los sólidos sedimentables y los mantuvo saludables (Ilustración 2). La eficiencia de esta proporción se puede ver en los porcentajes de remoción (de hasta el 40% en DQO total y de hasta el 60% DQO soluble) y las gráficas de C1 y C2.
- En la etapa de la determinación de la dilución del efluente para aumentar los porcentajes de clarificación y remoción de DQO, se determinó una proporción de 30% agua potable, 50% de medio basal y 20% de aguas residuales. Como se muestra en la tabla de resultados, el mayor porcentaje de remoción se logra en esta composición que corresponde a la 3ra variación. A medida que aumenta el tiempo de aclimatación bajo estas condiciones aumenta el porcentaje de remoción llegando a un 27% de DQO total y 86% DQO soluble. La DQO soluble tiene mayor remoción por ser materia orgánica de fácil asimilación para las bacterias.
- Finalmente podemos decir que al encontrarse los lodos ya aclimatados, necesitan de efluente lácteo para sobrevivir, es por esto que al hacer la prueba sobre la variación de la carga orgánica sobre los porcentajes de remoción, hay mejores resultados en la aplicación de la carga media alta (CMA). Como se puede ver en la tabla 27.
- En conclusión podemos decir que para tratar un efluente tan completo como es el de una industria quesera se necesita de lodos activados previamente aclimatados y de la

presencia de un sistema de dilución de sólidos coloidales o un sistema de remoción de los contaminantes que se encuentren en este estado; un sistema adecuado sería un DAF. Ya con una concentración menor de sólidos coloidales las bacterias pueden digerir con mayor facilidad, como se ve en el estudio realizado.

7 Anexo I



Ilustración 5 Montaje de los 5 reactores para estudio de aclimatación.



Ilustración 6 Reactores usados para el estudio del efecto de la carga orgánica sobre los porcentajes de remoción de DQO.

Tabla 27 DQO total de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo.

| DQO T | CB (mg/L) | | | CM (mg/L) | | | CMA (mg/L) | | |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | REAC TOR A | REAC TOR B | REAC TOR C | REAC TOR A | REAC TOR B | REAC TOR C | REAC TOR A | REAC TOR B | REAC TOR C |
| 0 | 1924 | 1843 | 1989 | 2423 | 2298 | 2278 | 3967 | 3870 | 3844 |
| 1 | 1965 | 1820 | 1952 | 2418 | 2268 | 2248 | 3873 | 3729 | 3788 |
| 2 | 1947 | 1826 | 1878 | 2323 | 2033 | 2158 | 3972 | 3832 | 3780 |
| 3 | 1861 | 1751 | 1840 | 2143 | 2003 | 2058 | 3884 | 3876 | 3436 |
| 4 | 1774 | 1734 | 1922 | 2073 | 1968 | 1993 | 3788 | 3788 | 3036 |
| 5 | 1740 | 1705 | 1688 | 2053 | 1903 | 1933 | 3708 | 3732 | 3008 |
| 6 | 1578 | 1693 | 1572 | 1968 | 1863 | 1883 | 3676 | 3532 | 2987 |
| 7 | 1439 | 1531 | 1554 | 1888 | 1688 | 1828 | 3636 | 3252 | 2879 |
| 8 | 1421 | 1498 | 1513 | 1858 | 1564 | 1654 | 3456 | 3132 | 3010 |
| 9 | | | | | | | 3567 | 3028 | 2743 |
| 10 | | | | | | | 3316 | 2860 | 2733 |
| 11 | | | | | | | 3076 | 2687 | 2634 |

Tabla 28 DQO soluble de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo

| DQO S | CB (mg/L) | | | CM (mg/L) | | | CMA (mg/L) | | |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | REAC TOR A | REAC TOR B | REAC TOR C | REAC TOR A | REAC TOR B | REAC TOR C | REAC TOR A | REAC TOR B | REAC TOR C |
| 0 | 1003 | 1003 | 1432 | 1460 | 1180 | 1380 | 2170 | 1970 | 1798 |
| 1 | 910 | 910 | 1104 | 1320 | 1080 | 1160 | 1850 | 1922 | 1158 |
| 2 | 841 | 864 | 895 | 1220 | 900 | 900 | 1418 | 1838 | 862 |
| 3 | 795 | 795 | 776 | 880 | 840 | 800 | 1370 | 1586 | 782 |
| 4 | 726 | 818 | 702 | 760 | 800 | 561 | 1254 | 1554 | 739 |
| 5 | 679 | 795 | 731 | 840 | 780 | 720 | 1194 | 1526 | 683 |
| 6 | 518 | 702 | 642 | 760 | 740 | 521 | 1262 | 1438 | 667 |
| 7 | 472 | 818 | 687 | 601 | 760 | 501 | 1206 | 1126 | 591 |
| 8 | 402 | 656 | 597 | 521 | 521 | 501 | 1142 | 1118 | 507 |
| 9 | | | | | | | 1126 | 1082 | 499 |
| 10 | | | | | | | 1058 | 1034 | 443 |
| 11 | | | | | | | 1050 | 1026 | 351 |

Tabla 29 Nitrato de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo

| NITRATO | CB (mg/L) | | | CM (mg/L) | | | CMA (mg/L) | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C |
| Hora de monitoreo | | | | | | | | | |
| 0 | 3 | 3 | 3 | 16 | 16 | 15 | 5 | 5 | 4 |
| 1 | 4 | 3 | 3 | 17 | 16 | 16 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | 3 | 4 | 4 | 16 | 16 | 16 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | 3 | 3 | 4 | 16 | 16 | 16 | 5 | 4 | 5 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 17 | 17 | 17 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | 4 | 6 | 3 | 17 | 17 | 17 | 6 | 4 | 5 |
| 6 | 3 | 4 | 3 | 18 | 17 | 17 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 3 | 6 | 3 | 18 | 18 | 17 | 5 | 4 | 5 |
| 8 | 4 | 7 | 6 | 17 | 18 | 17 | 5 | 4 | 5 |
| 9 | | | | | | | 5 | 4 | 5 |
| 10 | | | | | | | 6 | 5 | 5 |
| 11 | | | | | | | 7 | 6 | 6 |

Tabla 30 Amonio de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo

| AMONIO | CB (mg/L) | | | CM (mg/L) | | | CMA (mg/L) | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C |
| Hora de monitoreo | | | | | | | | | |
| 0 | 3 | 9 | 9 | 26 | 25 | 26 | 4 | 4 | 4 |
| 1 | 4 | 9 | 9 | 24 | 21 | 25 | 2 | 3 | 2 |
| 2 | 3 | 9 | 9 | 25 | 18 | 24 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | 3 | 9 | 9 | 21 | 17 | 24 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 3 | 8 | 8 | 20 | 17 | 22 | 1 | 2 | 1 |
| 5 | 4 | 8 | 9 | 20 | 21 | 22 | 1 | 2 | 1 |
| 6 | 3 | 8 | 9 | 21 | 19 | 24 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 3 | 8 | 9 | 22 | 22 | 24 | 2 | 1 | 2 |
| 8 | 4 | 7 | 7 | 20 | 23 | 21 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | | | | | | | 1 | 1 | 2 |
| 10 | | | | | | | 1 | 1 | 3 |
| 11 | | | | | | | 1 | 2 | 2 |

Tabla 31 Fosfato de las variaciones CO1, CO2 y CO3, según las horas de monitoreo

| FOSFATO | CB (mg/L) | | | CM (mg/L) | | | CMA (mg/L) | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C | REACTOR A | REACTOR B | REACTOR C |
| Hora de monitoreo | | | | | | | | | |
| 0 | 174 | 107 | 82 | 176 | 248 | 223 | 176 | 174 | 164 |
| 1 | 164 | 101 | 73 | 157 | 244 | 188 | 167 | 176 | 146 |
| 2 | 161 | 99 | 73 | 126 | 231 | 171 | 149 | 146 | 115 |
| 3 | 174 | 86 | 52 | 130 | 216 | 214 | 78 | 88 | 86 |
| 4 | 159 | 79 | 58 | 126 | 215 | 186 | 73 | 76 | 80 |
| 5 | 162 | 71 | 59 | 112 | 212 | 180 | 98 | 78 | 81 |
| 6 | 165 | 91 | 59 | 108 | 216 | 186 | 93 | 82 | 78 |
| 7 | 163 | 85 | 59 | 109 | 201 | 180 | 83 | 75 | 80 |
| 8 | 150 | 83 | 58 | 114 | 184 | 179 | 83 | 72 | 87 |
| 9 | | | | | | | 87 | 72 | 99 |
| 10 | | | | | | | 95 | 71 | 100 |
| 11 | | | | | | | 103 | 80 | 120 |

Tabla 32 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 1, en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo

| | Oxígeno Disuelto (mg /L) | Ph | Conductividad (uS / cm) | Temperatura C |
|----------|---------------------------|------|--------------------------|---------------|
| 6:00 AM | 2.8 | 8.17 | 954 | 17.1 |
| 10:00 AM | 3 | 7.78 | 908 | 19.6 |
| 12:00 PM | 4.1 | 8.01 | 916 | 19.8 |
| 4:00 PM | 5.3 | 8.15 | 1010 | 19.7 |
| 6:00 PM | 5.7 | 8.2 | 1120 | 20.1 |
| 8:00 PM | 5.2 | 8.38 | 1210 | 21.1 |
| 12:00 AM | 5.2 | 8.17 | 1189 | 21.8 |
| 6:00 AM | 5.45 | 8.34 | 1298 | 20.1 |
| 8:00 AM | 5.21 | 8.21 | 1121 | 20.8 |

Tabla 33 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 2 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo

| | Oxigeno Disuelto (mg /L) | Ph | Conductividad (uS / cm) | Temperatura C |
|----------|----------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------|
| 8:00 AM | 2.9 | 8.23 | 1092 | 17.7 |
| 10:00 AM | 3 | 7.8 | 1011 | 19.2 |
| 12:00 PM | 4.8 | 8.01 | 1076 | 19.9 |
| 4:00 PM | 5.3 | 8.63 | 1231 | 19.8 |
| 6:00 PM | 5.9 | 8.46 | 1298 | 20.3 |
| 8:00 PM | 5.7 | 8.58 | 1210 | 21.4 |
| 12:00 AM | 5.6 | 8.12 | 1211 | 21.1 |
| 6:00 AM | 5.2 | 8.45 | 1243 | 20.1 |
| 8:00 AM | 5.42 | 8.34 | 1214 | 20.1 |

Tabla 34 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 3 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo

| | Oxigeno Disuelto (mg /L) | Ph | Conductividad (uS / cm) | Temperatura C |
|----------|----------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------|
| 8:00 AM | 2.8 | 8.17 | 1014 | 17.7 |
| 10:00 AM | 3.7 | 8.14 | 1312 | 19.3 |
| 12:00 PM | 4.9 | 8.26 | 1421 | 19.2 |
| 4:00 PM | 5.6 | 8.59 | 1152 | 19.6 |
| 6:00 PM | 5.6 | 8.55 | 1215 | 19.9 |
| 8:00 PM | 5.9 | 8.65 | 1187 | 20.8 |
| 12:00 AM | 5.6 | 8.12 | 1156 | 20.9 |
| 6:00 AM | 5.3 | 8.34 | 1197 | 19.9 |
| 8:00 AM | 5.6 | 8.59 | 1243 | 19.7 |

Tabla 35 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 4 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo

| | Oxigeno Disuelto (mg /L) | Ph | Conductividad (uS / cm) | Temperatura C |
|----------|----------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------|
| 8:00 AM | 2.8 | 8.13 | 953 | 18.2 |
| 10:00 AM | 2.9 | 8.04 | 1021 | 19.3 |
| 12:00 PM | 5 | 8.24 | 1087 | 20 |
| 4:00 PM | 5.9 | 8.59 | 1110 | 19.9 |
| 6:00 PM | 5.7 | 8.5 | 1173 | 19.9 |

| | | | | |
|----------|-----|------|------|------|
| 8:00 PM | 5.4 | 8.45 | 1098 | 21.2 |
| 12:00 AM | 5.5 | 8.39 | 1132 | 20.9 |
| 6:00 AM | 5.3 | 8.42 | 1193 | 19.9 |
| 8:00 AM | 5.7 | 8.55 | 1198 | 19.5 |

Tabla 36 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 5 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo

| | Oxígeno Disuelto (mg /L) | Ph | Conductividad (uS / cm) | Temperatura C |
|----------|---------------------------|------|--------------------------|---------------|
| 8:00 AM | 3 | 8.17 | 1009 | 17.7 |
| 10:00 AM | 3.9 | 8.1 | 1043 | 18.6 |
| 12:00 PM | 4.8 | 8.23 | 1132 | 19.7 |
| 4:00 PM | 5.9 | 8.46 | 1165 | 19.8 |
| 6:00 PM | 5.9 | 8.46 | 1173 | 19.9 |
| 8:00 PM | 5.6 | 8.5 | 1121 | 20.9 |
| 12:00 AM | 5.5 | 8.43 | 1213 | 20.2 |
| 6:00 AM | 5.4 | 8.39 | 1252 | 19.9 |
| 8:00 AM | 5.9 | 8.72 | 1198 | 19.7 |

Tabla 37 Variaciones de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura reactor 6 en el monitoreo de 6 reactores para determinar el volumen de lodos óptimo

| | Oxígeno Disuelto (mg /L) | Ph | Conductividad (uS / cm) | Temperatura C |
|----------|---------------------------|------|--------------------------|---------------|
| 8:00 AM | 2.6 | 7.93 | 1198 | 17.7 |
| 10:00 AM | 2.89 | 7.94 | 1165 | 19.6 |
| 12:00 PM | 4.2 | 7.99 | 1098 | 20 |
| 4:00 PM | 5.8 | 7.76 | 1045 | 19.9 |
| 6:00 PM | 5.6 | 7.93 | 1165 | 20.2 |
| 8:00 PM | 5.9 | 7.88 | 1098 | 21.2 |
| 12:00 AM | 5.7 | 7.98 | 1132 | 20.9 |
| 6:00 AM | 5.6 | 7.94 | 1134 | 19.7 |
| 8:00 AM | 5.7 | 7.92 | 1156 | 19.2 |

8 BIBLIOGRAFÍA

1. **El Telégrafo** . Produccion Lechera mueve \$700 millones al año. *El Telégrafo*. 11 de Septiembre de 2013, págs. 13-14.
2. **Cámara de Agricultura de la Primera Zona**. *Análisis e interpretación del 3er Censo Agropecuario*. Quito : s.n., 2013.
3. **SIPAE**. *Libre comercio y lácteos: la producción de leche en el Ecuador entre el mercado nacional y la globalización*. Quito : Frank Brassel y Francisco Hidalgo, 2007.
4. **Cabrera Torres, Jairo Rommel** . *Estudio de prefactibilidad e impacto ambiental para una planta de procesamiento de lácteos en la provincia de Sto. Domingo de los Tsáchilas*. Quito : Escuela Politecnica Nacional , 2011.
5. **R., Saenz y S., Vergara**. *Desarrollo del proceso de tratamiento de Desechos en una empresa de productos lácteos*. Guayaquil : ESPOL, 2010.
6. **González Cáceres, Marcelino de Jesus** . *Aspectos Ambientales Asociados a los procesos de la industria Láctea*. s.l. : Mundo Pecuario , 2012.
7. **Rodriguez, Nadia**. *Evaluación de una planta de tratamiento de la industria láctea*. Victoria de Durango : Instituto Politécnico Nacional , 2010.
8. **Gallego, Alejandrina, y otros, y otros**. *Contaminación Atmosférica* . Madrid : UNED, 2012.
9. **Tchobanoglous, George, Theisen, Hilary y Vigil, Samuel**. *Gestión Integral de Residuos Sólidos* . Mexico : McGraw Hill, 1994.

10. **Metcalf y Eddy** . *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. New York : McGraw Hill, 2003.
11. **Carvalho, Fátima, Pazeres, Ana R. y Rivas , Javier**. *Cheese whey wastewater*. Badajoz : Science of the Total Environment, 2012.
12. **Carvalho, Fátima, Prazeres, Ana y Rivas, Javier**. *Cheese whey wastewater: Characterization and treatment*. Badajoz : Science of Total Environment, 2012.
13. **Romero, María Elena** . *Desarrollo de un plan de manejo ambiental para la industria FLORALP*. Quito : s.n., 2009.
14. **Orellana , Jorge**. *Características de los Líquidos Residuales*. s.l. : UTN, 2008.
15. **Guerrero , Lorna, Weidner, Carlos y Suarez , Monica**. *Gestion y diseño de una PTAR de residuos industriales líquidos para una industria de alimentos*. Cancún : Congreso Iberoamericano de Ing. Sanitaria e Ing. Ambiental, 2002.
16. **Korsak, Laris**. *Manual de producción mas limpia para Nicaragua* . s.l. : Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, 2010.
17. **Danalewich, J.R., y otros, y otros**. *Characterization of dairy waste streams, current treatment practices and potential for biological nutrient removal*. s.l. : Elsevier Science, 1998.
18. **Dirección Metropolitana Ambiental**. *Ordenanza Municipal No°213*. Quito : s.n., 2010.
19. **CAR/PL**. *Prevención de contaminación de la industria Láctea*. Barcelona : CAR/PL, 2002.
20. **Ramalho**. *Tratamiento de Aguas Residuales* . Barcelona : Reverte S.A., 1993.

21. **Madrid, A.** *Tecnología Quesera*. Madrid : Mundi Prensa , 1999.
22. **Cevallos, Cristian.** El Queso un Manjar Milenario. *EL HOY*. 10 de Noviembre de 2005, pág. 12.
23. **Arteaga, Homero.** *Informacion General Planta de La Holandesa*. [entrev.] Karolina Chamorro. 22 de Junio de 2014.
24. **Villena, Luis.** *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias Andalucia*. 1995.
25. **Carta, F., y otros, y otros.** *Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime*. Sevilla : Process Biochemistry, 1998.
26. **Caisma, Kisa.** *Detection of important parameters in dairy plant waste waters*. Ankara : University of Ankara, 2009.
27. **Da Cámara , Leslie, Hernández , Mario y Paz , Luiselena.** *Manual de diseño de una PTAR para la industria alimentaria* . 2010.
28. **García, J.C., y otros, y otros.** *Operación de Plantas para tratamiento biológico de aguas residuales de industrias lácteas*. Oviedo : Información Tecnológica, 1996.
29. **Seda Bilir Ormanci, F.** *Detection of the important pollution parameters in dairy plant wastewater*. Ankara : University of Ankara, 2009.
30. **Zamora Carrillo, Marco.** *Caracterización de los parámetros de calidad del agua desalojada por la empresa de productos lácteos Marcos, con el fin de disminuir su contaminación en el cantón de Pillaro, provincia de Ambato*. Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2011.

31. **Restrepo Gallego, Mauricio.** *Producción más limpia de la industria alimentaria.* s.l. : Producción + Limpia, 2006.
32. **Putz, Petra.** *Eliminación y determinación de fosfato.* s.l. : Lange Hache, 2008.
33. **Romero Rojas, Jairo Alberto.** *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de diseño.* Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería , 1999.
34. **Reynolds y Richards.** *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering.* London : PWS, 1999.
35. **APHA.** *Standar Methods for examination of water and wastewater.* Washington D.C. : APHA , 1998.
36. **Comisión Nacional del Agua .** *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales.* Japón : Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2013.
37. **Valarezo García, Natazha Alejandra.** *Efecto de la concentración de biomasa, aceites vegetales, aceites vegetales quemados, sales e hidrocarburos en los lodos activados .* Quito : USFQ, 2010.
38. **Rodriguez, Jenny.** *Tratamiento anaerobio de aguas residuales.* Cali : Universidad del Valle, 2010.
39. **Knobelsdorf, Miranda.** *Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante proceso VIP.* Cataluña : Universidad Politécnica de Cataluña, 2005.
40. **Romero Rojas, Jairo Alberto.** *Calidad del Agua.* Medellín : Escuela Colombiana de Ingeniería , 2002.

41. **Arroyo, B, y otros, y otros.** *Aerobic Granulation with Industrial wastewater in sequencing batch reactors*. Galicia : Universidad Santiago de Compostela, 2004.
42. **INEC.** *Procesador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador* . Quito : s.n., 2012.
43. **De Nevers, Noel.** *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. Meico : McGraw Hill , 1998.
44. **Vidal, Carvalho y Mendez.** *Influencia of the content in fats and proteins on the anaerobic*. Concepción : s.n., 2000.
45. **Horan.** *Biological Wastewater Treatment Systems Theory and Operation* . West Sussex : Wiley , 1991.
46. **Moreno , Daniela, Quintero , Jaqueline y Lopez , Armando** . *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Bogotá : Instituto de Ciencias , 2010.
47. **Suárez y Jácome.** *Eliminación de fósforo en los procesos de depuración de aguas residuales* . Coruña : Universidad da Coruna, 2007.
48. **Cajigas, Alvaro, Pérez, Andrea y Torres, Patricia.** *Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento de aguas residuales de los procesos de extracción del almidón de Yuca*. Cali : s.n., 2005.
49. **Pacuru, Rafaela.** *Plan de manejo ambiental para las industrias Lácteas "San Salvador"*. Riobamba : ESPOCH, 2011.

50. **Vidal, G., y otros, y otros.** *Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters.* Santiago de Compostela : Bioresource Technology , 2000.
51. **Parra Huertas, Ricardo Adolfo.** *La importancia del lactosuero.* Medellín : Facultad Agraria de la Universidad de Medellin, 2009.
52. **García-Sandá, E., Lema, J.M. y Omil, F.** *Gestión Integral de flotantes separados durante el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.* Santiago de compostela : Universidad Santiago de Compostela, 2006.
53. **Diccionario Ciencia.** Diccionario Ciencia.net. [En línea] 2007.
<http://ciencia.glosario.net/medio-ambiente-acuatico/antropog%E9nico-10244.htmL>.
54. **Abu-Orf, Mohammad, Bowden, Gregory y Pfrang, Wiliam.** *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery .* New York : Metcalf and Eddy, 2003.
55. **Miyashiro, y otros, y otros.** *Tratamiento de Aguas Residuales mediante lodos activados .* s.l. : Universidad De San Marcos, 2003.
56. **Lawrence, y otros, y otros.** *Waste treatment in the food processing industry .* s.l. : Taylor and Francis Group, 2006.
57. **Wawrzak, Dorota.** *Microbiological Reduction of sulfates to sulfides used in Dairy Wastewater.* s.l. : University of Częstochowa, 2013.

