FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE FRIULATTE.

AUTORA

Victoria Melisa Viteri Calvopiña

AÑO

2017

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE FRIULATTE.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniera en Biotecnología.

Profesor Guía

Dra. Laura Guerrero Latorre

Autora

Victoria Melisa Viteri Calvopiña

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencia para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

_____

Laura Guerrero Latorre

Doctora en Microbiología Ambiental y Biotecnología

C.I. 1758028896

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

_____

Carlos Andrés Bastidas Caldes

Máster Universitario en Microbiología Avanzada

C.I. 0201619806

DECLARACIÓN DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este proyecto es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Victoria Melisa Viteri Calvopiña
C.I. 1718978735

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su esfuerzo, amor, y motivación, del mismo modo a mis: hermanos, abuelitos, primos y a mi tío y a mi novio por su apoyo incondicional. A las empresas Friulatte y Fabrilacteos por su acogida, ayuda y tiempo.

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a mis padres, hermanos, abuelitos, primos y a mi tío y a mi novio por ser la fuente de motivación de cada día. Finalmente, a Dios por la vida, la salud y la esperanza.

RESUMEN

En Ecuador, los derivados lácteos son alimentos fundamentales y preferidos por la sociedad, por lo que, la industria láctea tiene un equilibrio económico y sustentable. Sin embargo, la producción de dichos derivados genera elevados desechos. Entre ellos, cabe destacar los altos volúmenes de agua residual; lo que representa un problema ambiental. Los efluentes se descargan en cuerpos de agua dulce, contaminando los ecosistemas y las poblaciones aledañas, es por esto que, el ministerio de ambiente establece normativas que regulan los niveles de descarga de aguas residuales en cuerpos de agua dulce. Actualmente, la mayoría de industrias lácteas no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales. El objetivo primordial del presente estudio es evaluar y diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de Friulatte, una empresa quesera ubicada en el sector de Aloag, barrio San José.

La ejecución del proyecto es mediante el análisis de un tratamiento biológico aerobio a escala de laboratorio. Se evaluó la eficacia del tratamiento biológico de aguas residuales de la empresa Friulatte, en condiciones de aireación artificial 8 h – 12 h y con un inóculo inicial de 90 mL – 130 mL proveniente de la empresa Fabrilacteos. El tratamiento B12 (12 horas de aireación y 130 mL de lodos activados), es eficaz ante el tratamiento de aguas residuales de Friulatte, debido a que el porcentaje de reducción de la demanda química de oxígeno es de 63,01%. Finalmente, se diseñó a escala una futura planta de tratamiento de aguas residuales a partir de los ensayos de laboratorio, donde se escogió el tratamiento B12 por su actividad de reducción respecto a los parámetros de control de efluentes según el ministerio del ambiente.

ABSTRACT

In Ecuador, dairy products are fundamental food and preferred by society, so the dairy industry has an economic and sustainable balance. However, the production of such derivatives generates high waste. These include high volumes of wastewater; which represents an environmental problem. Effluents are discharging into bodies of fresh water, polluting ecosystems and surrounding populations, which is why the ministry of environment establishes regulations that regulate the levels of wastewater discharge into freshwater bodies. Currently, most dairies do not have a wastewater treatment system. The main objective of this study is to evaluate and design a wastewater treatment system from Friulatte, a cheese factory located in the area of Aloag, San José district.

The execution of the project is through the analysis of an aerobic biological treatment at laboratory scale. The efficacy of the biological treatment of wastewater of the company Friulatte is evaluating, under conditions of artificial aeration 8 h - 12 h and with an initial inoculum of 90 mL - 130 mL from Fabrilacteos Company. The B12 treatment (12 hours of aeration and 130 mL of activated sludge) is effective in the treatment of wastewater from Friulatte, because the percentage reduction of chemical oxygen demand is 63.01%. Finally, a future treatment plant for wastewater is designing to scale from the laboratory tests, where treatment B12 is choosing because of its reduction activity with respect to effluent control parameters according to the Ministry of the Environment.

ÍNDICE

1. Introducción 1
1.1. Antecedentes 1
1.2. Planteamiento del problema 1
1.3. Objetivos 3
1.3.1. Objetivo general 3
1.3.2. Objetivos específicos 3
1.4. Justificación 4
2. Marco teórico 5
2.1. Recursos naturales 5
2.2. Impacto ambiental 5
2.2.1. Medio Ambiente 5
2.2.2. Factores ambientales 6
2.2.3. La hidrosfera 6
2.2.4. Contaminación del agua 7
2.2.5. Medidas de protección de sistemas hidrológicos y de aguas 7
2.3. Impacto ambiental de industria láctea 7
2.3.1. Aguas residuales de la industria láctea 8
2.3.1.1. Contaminación producida en las industrias queseras 9
2.4. Normativa y legislación ambiental 12
2.5. Industria láctea en Ecuador 12
2.5.1. Industria Quesera 12
2.5.1.1. Queso 12
2.5.1.2. Procesos de producción de quesos en Friulatte 13
2.5.1.3. Lacto suero 15
2.6. Tratamientos de aguas residuales 16
2.6.1. Caracterización de aguas residuales lácteas 17
2.6.1.1. Demanda química de oxígeno 17
2.6.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno 18
2.6.1.3. Potencial hidrógeno (pH) 18
2.6.1.4. Oxígeno disuelto (OD) 18

2.6.1.5. Temperatura 18
2.6.1.6. Sólidos suspendidos 19
2.6.1.7. Sólidos disueltos 19
2.6.1.8. Fosfatos 19
2.6.1.9. Sulfatos 19
2.6.1.10. Aceites y grasas 20
2.6.2.1. Pretratamiento 20
2.6.2.2. Tratamiento primario 21
2.6.2.2.1. Cribado 21
2.6.2.2.2. Sedimentación 21
2.6.2.2.3. Flotación 22
2.6.2.2.4. Neutralización y homogenización 23
2.6.2.3. Tratamiento secundario 23
2.6.2.3.1. Procesos biológicos anaeróbicos 24
2.6.2.3.2. Proceso biológico aeróbico 25
2.6.2.3.2.1. Lodos activados 26
2.6.2.4. Tratamiento terciario 29
2.7. Elementos de diseño de una plata de tratamiento de aguas residuales 29
2.7.1. Canal 29
2.7.2. Geometría de un canal 29
2.7.3. Pendiente longitudinal (So) 29
2.7.4. Sección transversal del canal 30
2.7.5. Ancho de superficie libre (T) 30
2.7.6. Rugosidad 30
2.7.7. Tirante del canal (y) 30
2.7.8. Perímetro mojado (P) 30
2.7.9. Radio hidráulico (Rh) 30
2.7.10. Pendiente hidráulica (Sf) 30
2.7.11. Canales 31
2.7.12. Caudal (Q) 32
2.7.13. Velocidad media (Vm) 32
2.7.14. Ecuación de conservación de masa 32
2.7.15. Conservación de energía 33

2.7.16. Pérdidas por fricción (hf) 34
2.7.17. Pérdidas por cambio de dirección 36
2.7.18. Pérdidas por transición 36
2.7.18.1. Transición de cuadrante cilíndrico..... 37
2.7.18.2. Transición de cuadrante en cuña……37
2.7.18.3. Transición de cuadrante alabeado……38
2.7.19. Clasificación del flujo según la variación del calado 39
2.7.20. Clasificación del flujo según el número de Froude 39
2.7.21. Carta topográfica 40
3. Diseño del plan experimental 40
4. Metodología..... 42
4.1. Muestreo de efluentes provenientes de Friulatte 42
4.1.1.Cálculo de caudal……43
4.2. Implementación de biorreactores aeróbicos a nivel de laboratorio..... 43
4.2.1. Construcción de aireador…….....…...43
4.2.2. Balance del pH……43
4.2.3.Establecimiento de los biorreactores a escala de laboratorio……..43
4.3. Caracterización de los efluentes de Friulatte 45
4.3.1. Medición de porcentaje de grasa, solidos no grasos, densidad, proteína, temperatura, lactosa, conductividad y pH 45
4.3.2. Medición de Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO_5) 45
4.3.3. Medición del Oxígeno disuelto (OD) 45
4.3.4. Medición de sólidos suspendidos (SS) 45
4.3.5. Medición de sólidos disueltos (SD) 46
4.3.6 Medición de fosfatos 46
4.4. Determinación de parámetros de análisis..... 46
4.5. Evaluación de la eficiencia del tratamiento..... 46
4.6. Análisis estadístico de cada tratamiento 46
4.7. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales..... 47
5. Resultados y discusión……...47

5.1. Variación de demanda química de oxígeno 47
5.1.1. Análisis de la demanda química de oxígeno en 8 horas de aireación.48
5.1.2. Análisis de la demanda química de oxígeno en 12 horas de aireación…….49
5.1.3. Reducción de demanda química de oxígeno 50
5.2. Variación de demanda bioquímica de oxígeno..... 51
5.2.1.Análisis de la demanda química de oxígeno en 8 horas de aireación..52
5.2.2. Análisis de la demanda química de oxígeno en 12 horas de aireación…….53
5.2.3.Reducción de demanda bioquímica de oxígeno……55
5.3. Análisis de oxígeno disuelto 56
5.3.1. Análisis del oxígeno disuelto en 8 horas de aireación 56
5.3.2. Análisis del oxígeno disuelto en 12 horas de aireación 58
5.3.3. Reducción del oxígeno disuelto……59
5.4. Análisis de los sólidos suspendidos..... 59
5.4.1. Análisis de los sólidos suspendidos en 8 horas de aireación 60
5.4.2. Análisis de los sólidos suspendidos en 12 horas de aireación 62
5.4.3. Reducción de sólidos suspendidos 63
5.5. Análisis de los sólidos disueltos..... 64
5.5.1. Análisis de los sólidos disueltos en 8 horas de aireación 64
5.5.2. Análisis de los sólidos disueltos en 12 horas de aireación 66
5.6. Análisis de fosfatos..... 67
5.6.1. Análisis de fosfatos en 8 horas de aireación 67
5.6.2. Análisis de fosfatos en 12 horas de aireación 69
5.7. Evaluación de los tratamientos 70
5.8. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Friulatte 72
6. Conclusiones y recomendaciones.....78
6.1. Conclusiones 78
6.1. Recomendaciones 79
Referencias 80
ANEXOS..... 83

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El Ecuador presenta gran productividad agroindustrial en el sector alimentario. La industria láctea se inició en el país en el año 1950 y contribuyó a estabilizar la economía a nivel nacional. Así mismo, parte de la producción de leche es destinada a los distintos derivados lácteos, siendo uno de ellos el queso. Este derivado se desarrolla nivel nacional a gran escala en los últimos doce años, de esta manera históricamente el queso es el producto lácteo de mayor consumo en nuestro país (Vizcarra, Tapia, Lasso, Flores, y Bolaños, 2015, p. 14).

No obstante, en la elaboración industrial de los derivados de la leche, se generan grandes cantidades de agua residual. El manejo inadecuado de los efluentes es una de las principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales. Los efluentes residuales tienden a ser un factor negativo en el medio ambiente, contaminando los recursos hídricos, particularmente en términos de contaminación de nutrientes y eutrofización de sistemas acuáticos. Actualmente la implementación de tratamientos de aguas residuales se está fomentando en las grandes empresas del Ecuador; aunque muchas pequeñas empresas aún no cuentan con sistemas de tratamiento de estos efluentes; actualmente los sistemas de tratamiento más usados en el país son los tratamientos biológicos mediante un proceso aeróbico. La depuración de aguas residuales tiene como objetivo la reducción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO) mediante la degradación de materia orgánica presente en las aguas residuales (Awt, 2015).

Para poder paliar los efectos negativos a nivel ambiental de los efluentes creados en las industrias lácteas se requiere un tratamiento final de las aguas residuales, con el fin de obtener un efluente menos contaminado que podría permitir su descarga en cuerpos de aguas dulces.

1.2. Planteamiento del problema

Las industrias lácteas ecuatorianas procesan diariamente 2.662.560 litros de leche, los mismos que son destinados a distintos productos como: quesos (31%),

leche en funda (27%), lecha en cartón (20%), yogurt (10%), leche en polvo (11%) y otros (1%) (FAO y CIL, 2015, p. 56).

Para la elaboración de los derivados lácteos, se necesita manejar elevadas cantidades de agua, por lo que es necesaria para todas las etapas de procesamiento y funcionamiento.

Según el ministerio del ambiente la carga contaminante que se genera a partir de la elaboración de quesos es 15,7 m^3 de volumen de desechos, 482 kilogramos/L de DBO_5, 731 kilogramos/L de DQO y 5 kilogramos/L de sólidos suspendidos (Ministerio del ambiente, 2013, p. 62). Para evaluar la calidad de agua se estudia los indicadores principales que son: DQO, DBO_5 y los sólidos suspendidos; junto con los límites máximos permisibles de descarga de efluentes son: 350 mg/L de DQO, 170 mg/L de DBO_5 y 100 mg/L de sólidos suspendidos (Distrito metropolitano de Quito, 2014, pp. 10-11).

Además, el ministerio del ambiente regula los niveles de contaminación atmosférica, contaminación por desechos sólidos y por aguas residuales; de esta manera, se ayuda a disminuir el impacto ambiental. En nuestro país, existen límites permisibles de descarga en cuerpos de agua dulce e alcantarillado; los mismos que se están regulados por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) con la ordenanza N_o 404 y por parte del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) la normativa técnica para control de descargas líquidas (NT002), para el cumplimiento de los límites permisibles de descarga de los efluentes en cuerpos de agua: dulce, salada y de alcantarillado. A pesar de ello, las normas existentes, todavía no se alcanza un óptimo porcentaje de ejecución ante los tratamientos de efluentes líquidos urbanos e industriales. De acuerdo al diagnóstico de información estadística del agua en Ecuador por parte de la Comisión para el Caribe y América Latina se describe que aproximadamente el 7% efectúa un tratamiento previo de los desechos líquidos. Este bajo porcentaje se debe al incumplimiento de las normas establecidas por el ministerio del ambiente (Cepal, 2012, p. 13).

El impacto ambiental que causan las aguas residuales es elevado, es por esto que con el presente proyecto se beneficiará a Friulatte, que es una empresa

productora de quesos ubicada en el sector de Aloag, barrio San José, actualmente dicha compañía procesa 3500 litros y obtiene 360 kilogramos de producto; no obstante, los efluentes no son tratados ni analizados de acuerdo a la carga contaminante y lamentablemente se desembocan directamente al sistema de alcantarillado, de tal manera que dichos efluentes contaminan las comunidades aledañas de Aloag y sus barrios (San José, Porvenir y Aychapicho) y los ríos Pedregal y San Pedro. El sector de Aloag actualmente no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales. Finalmente, con dicho proyecto se implementará una planta de tratamiento para los efluentes queseros provenientes de Friulatte, ya que con los sistemas de tratamiento se brindarán soluciones ante el impacto ambiental del agua.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento de un tratamiento biológico de efluentes lácteos provenientes de la empresa Friulatte mediante el uso de un consorcio de microorganismos para su saneamiento y descontaminación de los efluentes.

1.3.2. Objetivos específicos

Caracterizar mediante un análisis físico-químicos los efluentes lácteos procedentes de Friulatte Ltda. para definir su composición.

Elaborar biorreactores a escala de laboratorio mediante tratamientos aerobios para constatar el rendimiento de los mismos.

Evaluar el rendimiento del biorreactor piloto en distintas condiciones mediante un análisis de cinéticas de reducción de la DBO_5 y DQO para la verificación del agua tratada.

Diseñar una planta de tratamiento piloto a escala mediante un programa gráfico para su futura construcción.

1.4. Justificación

Los tratamientos biológicos de aguas residuales más eficientes para la reducción de DBO_5 y DQO son los tratamientos aeróbicos. Estos tratamientos consisten en la digestión aeróbica de microorganismos para la reducción de materia orgánica presente en las aguas residuales (Noyola, Morgan y Guerra, 2013, p. 14).

La elaboración de los derivados lácteos como son los quesos, conlleva el manejo de elevadas cantidades de agua, ya que es necesaria en todas las etapas de procesamiento y funcionamiento; por consiguiente, la cantidad de efluentes que se genera de las mencionadas industrias son producto de: procesos de limpieza en (equipos, áreas de producción, tanques de almacenamiento, entre otros) y procesos de producción (desuerado, moldeado, prensado, entre otros). Además, según el ministerio del ambiente de nuestro país la carga contaminante que se genera a partir de la elaboración de quesos origina un elevado grado de contaminación en las aguas residuales con un índice de 60.000 mg/L de DQO del lacto suero (CAR/PL, 2002, p. 63).

Por ello, es primordial implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales antes de su posterior descarga para disminuir la contaminación ambiental.

En el presente proyecto los resultados que se obtuvieron son sistemas de tratamientos para aguas residuales provenientes de la empresa Friulatte, de esta manera será una alternativa potencial de gran interés para la biotecnología ambiental, puesto que se aplicó un consorcio de microorganismos con procesos de digestión aeróbica, de tal manera que, la demanda química de oxígeno disminuya conjuntamente con la contaminación de los efluentes, los mismos que se encontrarán dentro de los límites permisibles que especifica la Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente, por lo tanto, con el presente proyecto se beneficiaran las comunidades aledañas de Aloag, sus barrios (San José, Porvenir y Aychapicho), la empresa Friulatte y los ríos Pedregal y San Pedro.

2. Marco teórico

2.1. Recursos naturales

El recurso natural describe una serie de procesos y elementos del medio, los mismos que efectúan el rol de escasez y utilidad. El beneficio del material corresponde a la utilidad, puesto que son: físicos o monetarios y de satisfacción inmaterial, lo que resulta como recursos intangibles y recursos materiales. De esta manera, los recursos tangibles y materiales son: el agua, los vegetales, el suelo, los minerales y los animales, que son generalmente utilizados para concebirlos como transacciones comerciales. Sin embargo, existen recursos que no tienen mercado, donde algunos de ellos pueden ser: el aire limpio, la biodiversidad, el soporte del suelo, adaptación de efluentes externos, entre otros; además, los recursos intangibles son aquellos que deleitan la vista y el oído como: la belleza de un paisaje, el esplendor de la naturaleza, la sombra de un bosque rebosante, el canto de las aves y el susurro de los riachuelos (Gómez y Gómez, 2013, pp. 49-50).

Los recursos naturales son la riqueza de fauna, flora, suelos, agua y minerales; que son elementos derivados de la naturaleza, es por ello que en la actualidad se han establecido una serie de normas para la conservación y uso sustentable (Martinez, 1992).

2.2. Impacto ambiental

2.2.1. Medio Ambiente

El medio ambiente es un conjunto de factores que interviene en un sistema que engloba a los principales elementos (aire, agua y suelo) y al desarrollo y existencia de los seres vivos del planeta; la interacción entre el medio ambiente y los seres vivos brindan la probabilidad de un equilibrio en nuestro planeta; sin embargo, la actividad humana a altera el equilibrio ecológico (Calixto, Herrera y Hernández, 2008, pp. 73-74).

Asimismo, el medio ambiente es un sistema conformado por elementos biológicos, sociales, físicos, económicos, estéticos y culturales que se relacionan

con el entorno donde se encuentran; además, contiene una variedad de agentes o elementos geológicos, biológicos, químicos, climáticos y sociales que se encuentran alrededor de los seres vivos, percibiendo su actividad, existencia, desarrollo, extinción y su identidad (Gómez y Gómez, 2013, p. 39).

2.2.2. Factores ambientales

La evaluación del impacto ambiental es un mecanismo de gestión ambiental, que juntamente con la legislación ambiental especifican y determinan los factores ambientales que son definidos en las evaluaciones de impacto ambiental. El medio ambiente integra procesos y elementos que se identifican en factores como: el ser humano, la flora, fauna, suelo, clima, agua, aire, paisajes, los bienes materiales y el patrimonio cultural. Sin embargo, en la actualidad, existe actividades humanas que ocasionan alteraciones en el medio ambiente, puesto que la utilización de los recursos naturales renovables no se estandariza, debido a la renovación anual de dichos recursos; es por esto que se debe regular el aprovechamiento de dichos recursos, de tal manera que se respete los principales vectores ambientales (agua, aire y suelo) para obtener un desarrollo sostenible (Gómez y Gómez, 2013, p. 49).

2.2.3. La hidrosfera

Es un subsistema de la tierra conformado por los tres estados físicos: sólidos (cuerpos flotantes de hielo, glaciares, casquetes polares, etc.), gaseoso (condensación que genera nubes) y líquido (mares, aguas subterráneas, lagos, océanos y aguas superficiales). Sin embargo, el agua como recurso vital se encuentra distribuida en nuestro planeta, de tal manera que se forma en océanos, aguas subterráneas, ríos, suelos, lagos, seres vivos y atmósfera. Los océanos son reguladores climáticos, debido a su: gran dimensión, flujo de movimientos y capacidad calorífica, cabe mencionar que los océanos también contribuyen a la atmósfera (Alvarez, 2016). No obstante, las acciones geológicas (transporte, erosión y sedimentación) se generan en las aguas continentales; que desde la ecología y geología son: los lagos, las aguas subterráneas y los ríos. Los lagos son grandes acopios de agua en depresiones continentales; los lagos son reservas de biodiversidad por lo que ayuda a la supervivencia de varias

especies animales. Los ríos son reguladores del relieve, debido a la capacidad de autodepuración y al aporte en los acuíferos subterráneos (Gómez y Gómez, 2013, pp. 641-642).

2.2.4. Contaminación del agua

La contaminación del agua es la actividad y el efecto de colocar en el agua formas de energía o materias, de tal manera que se genere un perjuicio a la calidad del agua, alterando su función ecológica. Existe distintos tipos de contaminación que se diferencian según: la naturaleza de contaminantes (bilógicos o químicos y físicos), su origen (natural o antrópica), su evolución (biodegradable o no), su localización (determinada o difusa), su grado de contaminación (alta, media y baja) y su medio de producción (aguas marinas, subterráneas y superficiales). Dicha contaminación genera un efecto contra producente en el agua juntamente con las especies vegetales y animales que dependen de dicho recurso vital (Alvarez, 2016).

2.2.5. Medidas de protección de sistemas hidrológicos y de aguas

Las medidas de protección de sistemas hidrológicos y de aguas especifica un apartado establecido para proteger los ríos, los riachuelos y sus afluentes, de tal manera que no se afecte este recurso ya sea indirectamente o directamente. En el campo de la construcción se han regulado algunas normas para la conservación de dichos recursos. Las medidas de protección consisten en proyectos de ingeniería para el uso, gestión y la conservación del recurso hídrico. Un ejemplo es el diseño de puentes donde se impide que se sitúen en el cauce y que los estribos no perjudiquen la vegetación de ribera. No obstante, en el caso de los desechos líquidos provenientes de distintas actividades (industriales, domésticas y urbanas) existen normas pertinentes para el vertido de dichos efluentes (Gómez y Gómez, 2013, p. 629).

2.3. Impacto ambiental de industria láctea

En la industria láctea se elaboran una gran variedad de derivados lácteos. Dicha producción ocasiona un impacto ambiental, generando desechos líquidos, sólidos y gaseosos (Gonzáles, 2012).

Los desechos sólidos son producidos a partir de actividades provenientes de la elaboración, producción, rechazo y distribución, por consiguiente, los desechos se clasifican de acuerdo a su origen y algunos de los mismos son aprovechados o reciclados. La mayoría de residuos generados en dicha industria son de tipo inorgánico puesto que se derivan de actividades de limpieza, mantenimiento, oficina, laboratorio y empaquetamiento. Del mismo modo, los desechos gaseosos se generan por pequeñas emisiones gaseosas por la utilización de calderas a vapor, marmitas y procesos de refrigeración (CAR/PL, 2002, p. 81). Además, el presente proyecto se centra en el tratamiento de los desechos líquidos, puesto que diariamente se generan efluentes elevados.

2.3.1. Aguas residuales de la industria láctea

Las aguas residuales son desechos líquidos producidos por distintos efluentes. Estas aguas se dividen dependiendo su origen como: aguas domésticas, industriales y urbanas. En las industrias lácteas se produce grandes cantidades de agua que provienen de operaciones de limpieza, mantenimiento, producción, empaquetado, entre otras; dichas cantidades de efluentes dependen del tipo y tamaño de la empresa (Arango y Garcés, 2007). Además, las aguas residuales lácteas son frecuentemente ácidas, ya que, se produce ácido láctico, ácido butírico y ausencia de oxígeno por la fermentación del azúcar de la leche, disminuyendo el pH a 4,5 - 5,0. Por otra parte, la composición de dichas aguas contiene sustancias orgánicas disueltas como lactosa y cantidades coloidales de proteína las mismas que son globulinas, caseínas y albúminas; incluso, se estima que este tipo de agua contiene una demanda bioquímica de oxígeno de 2000 a 3000 mg/L y una demanda química de oxígeno de 2000 a 4000 mg/L (Arango y Sanches, 2009).

Existe controles para las aguas residuales de tipo industrial, puesto que la contaminación producida en industrias lácteas puede contener altos niveles de: demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, fosfatos, temperatura, entre otros. Por ello, existen límites permisibles de descarga de dichos efluentes en el alcantarillado, de esta manera se disminuye el impacto

ambiental y se maneja de manera adecuada las aguas residuales (Figura 1) (Mihelcic y Zimmerman, 2015, p. 463).

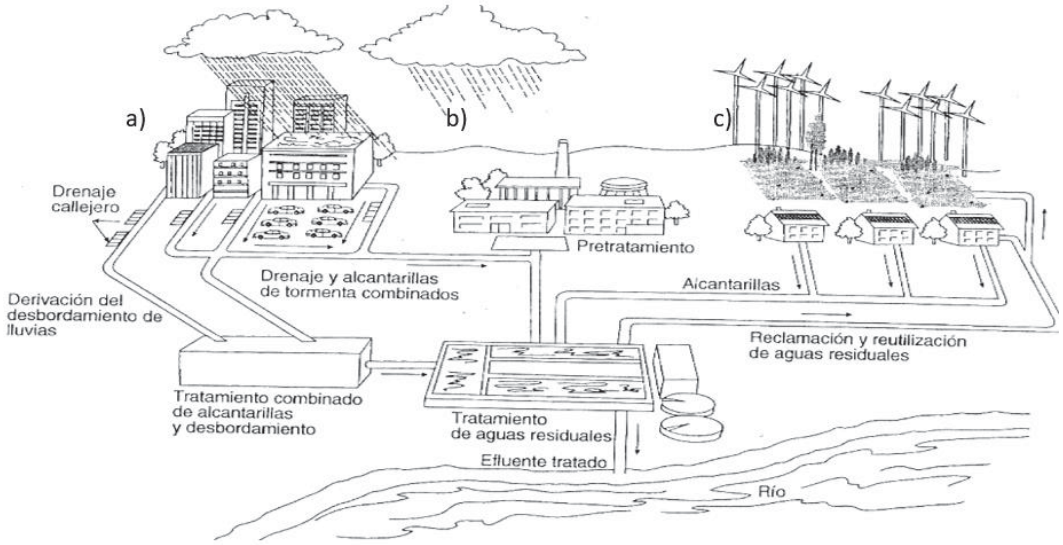


Figura 1. Manejo de infraestructura de aguas residuales con un tratamiento previo para su posterior descarga: a) agua residual producida en ciudades, b) aguas residuales producidas en zonas rurales y c) aguas residuales producidas en pueblos.

Tomado de (Mihelcic y Zimmerman, 2015, p. 461).

2.3.1.1. Contaminación producida en las industrias queseras

El impacto ambiental que genera la fabricación de quesos son provocados por la producción de residuos sólidos, emisiones gaseosas y aguas residuales. (Gonzales, 2012). Factores medio ambientales que se originan de la producción quesera son: las emisiones atmosféricas se producen por el uso de las calderas, el gasto energético que se genera por el uso de la energía eléctrica en los distintos procesos de fabricación de quesos, los residuos sólidos que se utilizan en procesos de empaquetamiento del producto final y la generación de aguas residuales (Figura 2). Se debe controlar el impacto ambiental que generan dichas empresas queseras, mediante el control adecuado de residuos sólidos, el análisis periódico de emisiones gaseosas y el tratamiento óptimo de aguas residuales (CAR/PL, 2002, p. 71).

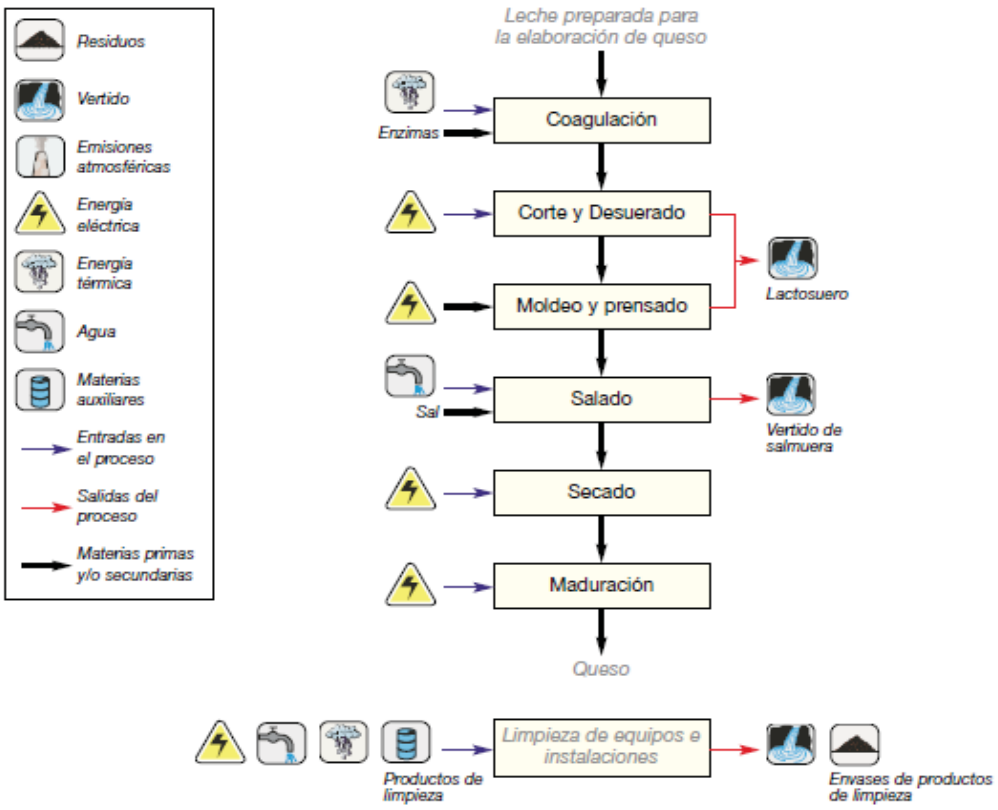


Figura 2. Factores medio ambientales de la producción quesera.

Tomado de (CAR/PL, 2002, p. 67).

Según el ministerio del ambiente de nuestro país la carga contaminante que se genera a partir de la elaboración de quesos es elevada, por consiguiente se introduce normativas de descarga de aguas residuales; según el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental imparte un rango de concentraciones ante los efluentes de una producción quesera; el contenido del lacto suero con proteína y lactosa (Tabla 1) origina un elevado grado de contaminación en las aguas residuales con un índice de 60.000 mg/L de DQO del lacto suero, por ende se debe efectuar un tratamiento previo antes de los procesos de descarga de efluentes (CAR/PL, 2002, p. 74).

Tabla 1.

Contenido del lacto suero.

Componente	Lacto suero ácido g/L	Lacto suero dulce g/L
Lactosa	44,0 – 46,0	46,0 – 52,0
Sólidos totales	63,0 -70,0	63,0 -70,0
Grasa	0,5 – 7,0	0,4 – 6,0
Proteína	6,0 – 8,0	6,0 – 10,0
Fosfatos	2,0 - 4,5	1,0 – 3,0
Calcio	1,2 – 1,6	0,4 – 0,6
Cloruros	1,1	1,1
Lactatos	6,4	2,0
pH	4,3 – 4,7	5,6 – 6,1

Adaptado de (Panesar, Kennedy, Gandhi y Bunko, 2007).

Finalmente, de acuerdo a los procesos de producción de quesos se genera efluentes líquidos con las siguientes características:

- Materia orgánica proveniente de los componentes de la leche.
- Cantidades de leche entera debido a pérdidas y derrames de la leche.
- Aceites y grasas derivado de la grasa de la leche.
- Variaciones de temperatura debido a los procesos de producción de los quesos.
- Conductividad procedente del cloruro de sódico que se usa en el salado del queso.

2.4. Normativa y legislación ambiental

En el Ecuador se establecen límites permisibles de descarga de efluentes de tipo doméstico, urbano e industrial. El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) implanta permisos ambientales vigentes desde abril del año 2011 hasta la presente fecha, de tal manera que para descarga de dichos efluentes se debe regir en la ordenanza Nº404 (Anexo 1) y la normativa 002-SA-2014 del Distrito Metropolitano de Quito (Anexo 2); cabe indicar que en las industrias lácteas los permisos y los límites de descarga de efluentes a agua dulce se describen en las mencionadas ordenanzas.

2.5. Industria láctea en Ecuador

El Ecuador presenta gran productividad económica en las industrias alimenticias. Una de ellas es la industria láctea, puesto que, desde 1950 se inició la producción lechera a nivel nacional (Vizcarra, et al., 2015, p. 19). En nuestro país se procesan diariamente 2.662.560 litros de leche los mismos que son destinados para la elaboración de derivados lácteos que son producidos a nivel industrial y artesanal de acuerdo a datos de los últimos doce años (FAO y CIL, 2015, p. 30).

La industria láctea es aquella que integra varias empresas productoras de derivados lácteos (yogurt, mantequilla, manjar de leche, quesos, crema de leche, tipos de leche), las mismas que pertenecen al sector alimenticio, donde su materia prima es la leche proveniente de ganado vacuno.

2.5.1. Industria Quesera

Dentro de los derivados lácteos se encuentran los quesos, los mismos que son generados a partir de la leche cruda juntamente con la aplicación de varios procesos adecuados; entre ellos se describen a continuación de manera general los productos (tipos de quesos) que ofrece “Friulatte” a sus consumidores.

2.5.1.1. Queso

Es un producto alimenticio que contiene propiedades físico químicas, funcionales, sensoriales, texturales y nutritivas, las mismas que difieren de

acuerdo al tipo de queso como: maduros o semi maduros, sólidos o semi sólidos y frescos (López y Ruiz, 2012).

2.5.1.2. Procesos de producción de quesos en Friulatte

- Preparación de leche cruda

Primeramente, se revisa los parámetros de calidad para recibir la leche del proveedor, posteriormente se traspasa la leche a dos marmitas para adicionar calor, esto se ejecuta para pasteurizar la leche con una temperatura 60°C, de esta manera se elimina ciertas bacterias patógenas que se encuentran en la leche.

- Disposición de cultivos lácticos

Posterior a la pasteurización de la leche se añade bajo medida y tiempo los cultivos lácticos para que adquiera el sabor y aroma propio del queso, de esta se monitorea la calidad del producto.

- Coagulación de la leche

Después de un determinado tiempo se procede a añadir bajo medida y tiempo el cuajo, el mismo que inicia la coagulación de la caseína. La formación del coágulo se compone de dos etapas que son (Figura 3):

  - Etapa del desarrollo enzimático es un proceso enzimático que contiene la participación de la quimosina para provocar la ruptura de enlaces existentes entre los aminoácidos metionina y fenilalanina, los mismos que se encuentran presentes en la k-caseína, de esta manera se libera el glicomacropéptido (Udayarajan, 2007, p. 29).
  - Etapa no enzimática es el paso de los agregados de la k-caseína para generar el coágulo (Udayarajan, 2007, p. 29).

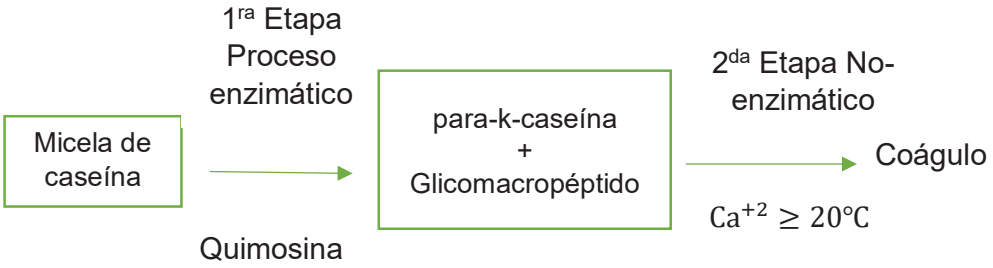


Figura 3. Formación del coágulo de caseína.

Adaptado de (Udayarajan, 2007, p. 29).

- Corte de cuajada

Posterior a un determinado tiempo se forma la cuajada con cualidades específicas para su corte, esto dependerá de factores como: temperatura, pH y concentración de calcio y de enzima. Una vez determinado el tiempo preciso para el corte se dará inicio al proceso de segmentación de la cuajada, esta etapa debe ejecutarse de manera pertinente y cuidadosa.

- Desuerado

Una vez concluido el corte se realiza una agitación leve para bajar el suero retenido, y así conseguir más compactación de la cuajada, hecho esto se procede a espera unos treinta minutos con la finalidad de que la cuajada se separe del suero. Cabe mencionar que en este proceso se generan a diario 706 litros de efluente (agua residual).

- Hilado y moldeado

La cuajada troceada se procede a tomar forma mediante la utilización de moldes plásticos y agua caliente – fría; de esta manera el queso consigue una consistencia específica. Además, en dicho proceso se genera a diario 227 litros de efluente (agua residual).

- Salado

Procedimiento en el cual se somete los quesos al tanque de salado por un tiempo determinado, una vez que los quesos sean desmoldados. Cabe mencionar, que en dicho proceso no se genera diariamente un efluente, puesto que, el tanque de salado se cambia semestralmente.

- Almacenamiento y empaquetado

Por un tiempo específico se almacena el producto a una temperatura adecuada, para posteriormente proceder con el empaquetamiento y la distribución.

- Limpieza de la planta de producción

Finalmente, se ejecuta un proceso de limpieza de utensilios, equipos, instalaciones, entre otros; donde se genera un efluente diario de 562 litros (agua residual).

2.5.1.3. Lacto suero

El lacto suero es una sustancia líquida de color amarillo translucido generada a partir de la precipitación de la caseína, que se forma en la elaboración de quesos. De acuerdo a procesos de eliminación del lacto suero se divide en dulce y ácido; el lacto suero dulce se basa en la coagulación con renina a pH 6.5; mientras que el lacto suero ácido se deriva de procesos de fermentación y de la adición de ácidos minerales e orgánicos; las propiedades nutricionales del lacto suero se divisan en la (Anexo 3) (Parra, 2009). Además, el lacto suero contiene una fuente rica de minerales como: fósforo, calcio, potasio, magnesio y sodio; incluso contiene vitaminas del grupo B y ácido ascórbico (Tabla 2) (Londoño et al., 2008). No obstante, por cada kilogramo de queso se genera 9 kilogramos de lacto suero, es decir, que dicho suero abarca el 55% de nutrientes de acuerdo al volumen de la leche (85% - 90%) (Liu, Chung, Yang y Yosef, 2005).

Tabla 2.

Composición del lacto suero en aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína).

Cobalamina	Ácido pantoténico	Riboflavina	Piridoxina	Ácido nicotínico	Tiamina	Ácido ascórbico	Cobalamina
Concentración (mg/ml)	3.4	1.2	0.42	0.85	0.38	2.2	0.03
Necesidad diaria (mg)	10	1.5	1.5	oct-20	1.5	10 – 75	2

Adaptado de (Parra, 2009).

2.6. Tratamientos de aguas residuales

Desde la década de los sesenta ha existido la noción de que el ser humano está destruyendo el medio ambiente mediante la contaminación de aire, suelo y agua. Todas estas contaminaciones son importantes, sin embargo, al ser el agua un recurso no renovable, se han buscado metodologías y técnicas como el tratamiento de aguas residuales para promover su reutilización y cuidado. Es decir, aguas residuales hacen referencia a la combinación de residuos líquidos y sólidos de origen doméstico, urbano e industrial. A pesar de que el tratado de aguas residuales no es considerado un problema de alta dificultad, es necesaria la interacción de varias disciplinas como las ciencias biológicas, ingeniería, ciencias básicas, ciencias de la tierra las cuales van a permitir obtener los resultados deseados (Gaudy y Gaudy, 1998, pp. 155-168).

Para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales es necesario el uso de equipos, operaciones unitarias y operarios que se encuentre sincronizados para tener un control del proceso en general. Este proceso de tratamiento cuenta con varios niveles por los que se van eliminando varios sólidos presentes en estas aguas. El tratamiento primario o inicial es aquel en el que se eliminan los sólidos presentes en suspensión y los materiales flotantes mediante el uso de rejillas por

lo general los sólidos que se eliminan en este proceso son los más grandes. Una vez que se alcanzan los límites establecidos, en el tratamiento primario se llevan los efluentes a un tratamiento secundario, el cual consta de procesos biológicos donde los sólidos van a ser degradados por microorganismos generando una biodegradación de la materia orgánica en productos no contaminantes. Finalmente, el efluente pasa a un clarificador en el cual permite la floculación de la grasa y desinfección de agua (Ramalho, 1996, pp. 91-92).

Además, en el proceso de tratamiento de aguas residuales se utiliza procesos de tratamiento biológico los cuales son de tipo anaerobios, anóxicos y aerobios. El tratamiento anaeróbico se realiza en ausencia de oxígeno para promover el desarrollo de microorganismos que degraden la materia orgánica y el tratamiento aeróbico se realiza en presencia de oxigeno con el fin de promover la degradación y el crecimiento de microorganismos (Massieu, 2008, p. 11). Proceso anóxico o desnitrificación anaerobia se basa en el conjunto de reacciones de reducción del nitrito o nitrato, los mismos que se aplican como aceptores de electrones en la omisión del oxígeno libre (Romero, 2002, p. 17).

2.6.1. Caracterización de aguas residuales lácteas

De acuerdo al Distrito metropolitano de Quito se determina un análisis físico químico de los efluentes para su posterior descarga a las aguas dulces (Tabla 2). Además, en las industrias queseras según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), se implementa límites permisibles de descarga de efluentes en sistemas de alcantarillado (Tabla 1).

2.6.1.1. Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno denominada por las siglas DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para procesos de oxidación de una fracción orgánica; es decir, que la DQO es un parámetro que mide la concentración de materia orgánica de una muestra mediante la oxidación química (Ramalho, 1996, pp. 28-29).

2.6.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno denominada por las siglas DBO_5 es la determinación de la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de la materia orgánica biodegradable con una temperatura, un tiempo determinado y la ayuda de bacterias. Además, resulta tres materiales con la demanda de oxígeno derivadas de aguas residuales: a) compuestos carbónicos orgánicos, los mismos que son la fuente alimenticia para organismos aeróbicos, b) el nitrógeno oxidable que se genera de compuestos orgánicos nitrogenados, amoniacos y nitritos; los mismos que se emplean como alimento para bacterias específicas y c) compuestos químicos reductores como sulfitos, sulfuros y ion ferroso, los mismos que proceden a oxidarse por oxígeno disuelto (Ramalho, 1996, p. 34).

2.6.1.3. Potencial hidrógeno (pH)

El pH es la actividad del ion hidrógeno; además es una medida de alcalinidad acidez de una solución. No obstante, en las plantas de tratamiento el pH debe ser controlado, puesto que se debe encontrar en un rango propicio para los organismos y los procesos biológicos (Romero, 2002, p. 66).

2.6.1.4. Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno cuantificada en un medio líquido, el cual se mide en mg/L (Romero, 2002, p. 64).

2.6.1.5. Temperatura

La temperatura es una magnitud que refleja el nivel térmico o calórico de una muestra, cuerpo, masa, solución, entre otras. En el tratamiento de aguas residuales la temperatura debe estar en un rango de 25°C - 35°C, debido a que la actividad bacteriana se encuentra estable; si la temperatura se eleva hasta los 50°C no existe nitrificación y digestión aeróbica; pero si la temperatura es menor a 15°C se disminuye la digestión metanogénica; es por esto que los niveles de temperatura deben ser monitoreados para que se desarrolle adecuadamente un tratamiento de aguas residuales (Romero, 2004, p. 70).

2.6.1.6. Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos denominados por la sigla SS, se refiere a la materia sólida de sustancias acuosas. El material sólido se encuentra dentro de materiales líquidos, refleja la concentración de sólidos ya sea en aguas: potables, residuales domésticas, residuales industriales y residuales urbanas (Romero, 2002, p. 68).

2.6.1.7. Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos denominados por la sigla SD, se refiere a la materia disuelta o suspenda en un medio acuoso, este tipo de materia no se remueve con filtración tradicional, puesto que mide 2 millonésimas de un metro; sin embargo, los sólidos disueltos son buenos indicadores de la calidad de agua (Romero, 2002, p. 68).

2.6.1.8. Fosfatos

El fósforo es útil para el desarrollo de plantas, animales y demás organismos biológicos; uno de los problemas que actualmente se ha generado es el incremento del fósforo en las aguas superficiales y eutrofización (envejecimiento de lagos), debido al vertido de aguas residuales de tipo industrial, urbanas y domésticas. Los fosfatos de carácter orgánico contienen: fosfolípidos, fosforamidas, fosfatos azucarados, nucleótidos, entre otros (Romero, 2002, p. 58).

2.6.1.9. Sulfatos

Son aquellas sales que generalmente se encuentran en las aguas residuales, debido a que se producen en la descomposición de materia orgánica; asimismo, cuando el sulfuro de hidrógeno se oxida en ácido sulfúrico llega a afectar los canales y las tuberías del alcantarillado (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 475-476).

2.6.1.10. Aceites y grasas

Son sustancias que se encuentran en las aguas residuales en forma de películas, natas y capas superficiales; las mismas que pueden ser lípidos como: grasas, aceites, ceras entre otros (Romero, 2002, p. 59).

2.6.2. Fases de tratamiento de aguas residuales

Las fases de tratamiento de aguas residuales son procesos que se aplican a distintos efluentes para su posterior descarga en los sistemas de alcantarillado y cauce de agua. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se basan en los siguientes tratamientos como: el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y el tratamiento terciario (Figura 4).

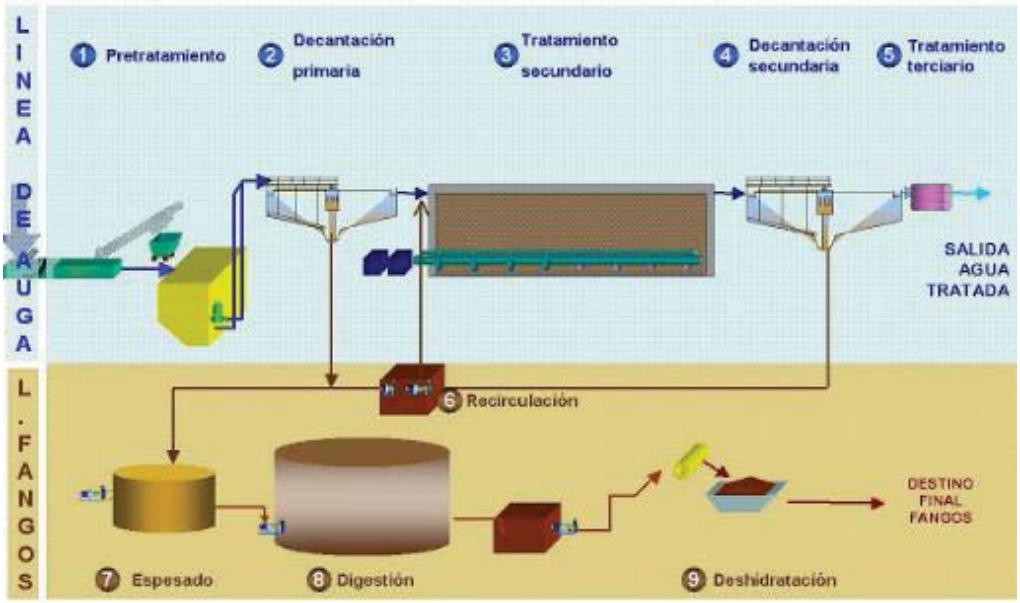


Figura 4. Fases de tratamiento de aguas residuales.

Tomado de (Saavedra, 2017).

2.6.2.1. Pretratamiento

Es un tratamiento preliminar que se ejecuta al inicio del tratamiento de aguas residuales, de tal manera que en esta fase se inspecciona el efluente antes de que ingre al tratamiento de aguas; es decir se garantiza y se protege los sistemas de tratamiento (Ramalho, 1996, p. 91).

2.6.2.2. Tratamiento primario

Es un proceso de disminución y remoción de sólidos en suspensión que se encuentran presentes en las aguas residuales; en este caso se aplica procesos mecánicos o físicos (Mihelcic y Zimmerman, 2015, p. 473). Los tipos de tratamiento primario son: sedimentación, cribado, neutralización, homogenización y flotación (Ramalho, 1996, p. 91).

2.6.2.2.1. Cribado

Se lo denomina también como desbrozo; es un proceso de disminución de sólidos de distinto tamaño que se localizan en suspensión; el material sólido se lo divide en gruesos y finos; para este tratamiento se usan rejillas finas de 5 mm y rejillas gruesas de 4 -9 cm, cabe recalcar que en el caso de atascamiento de los sólidos se utiliza tamices finos o equipo mecánicos para evitar que los sólidos se atasquen y dañen la infraestructura. El mantenimiento de las rejillas se lo ejecuta de manera mecánica o manual (Ramalho, 1996, p. 92).

2.6.2.2.2. Sedimentación

Es un tratamiento de separación de sólidos en suspensión; donde el depósito de dichos sólidos van de acuerdo a su peso específico; dependiendo el origen del sólido se emplea el tipo de sedimentación como: a) sedimentación discreta (mantiene las propiedades de los sólidos (peso específico, forma y tamaño), b) sedimentación con floculación (agrupamiento de los sólidos con cambios de velocidad y densidad en la sedimentación) y c) sedimentación por zonas (formación de dos fases distintas (masa total de sólidos y fase líquida) (Figura. 5) (Ramalho, 1996, p. 93).

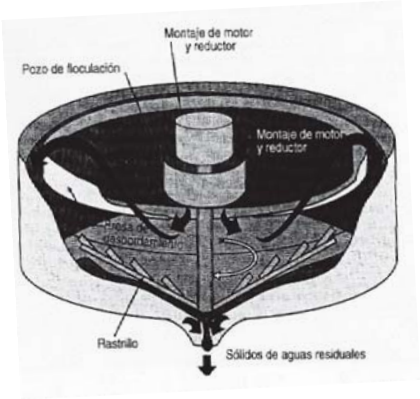


Figura 5. Sección transversal de un tanque de sedimentación circular.

Tomado de (Mihelcic y Zimmerman, 2015, p. 473).

2.6.2.2.3. Flotación

Es un mecanismo de separación de sólidos acuosos y de baja densidad; para este tratamiento se trabaja en la fase líquida con gas (aire) para precipitar y saturar el aire en el agua, posteriormente se aplica despresurización para alcanzar la presión atmosférica mediante válvulas reductoras de presión; finalmente los sólidos en suspensión llegan a flotar en la superficie y son separados con procesos mecánicos (Figura 6) (Ramalho, 1996, pp. 146-147).

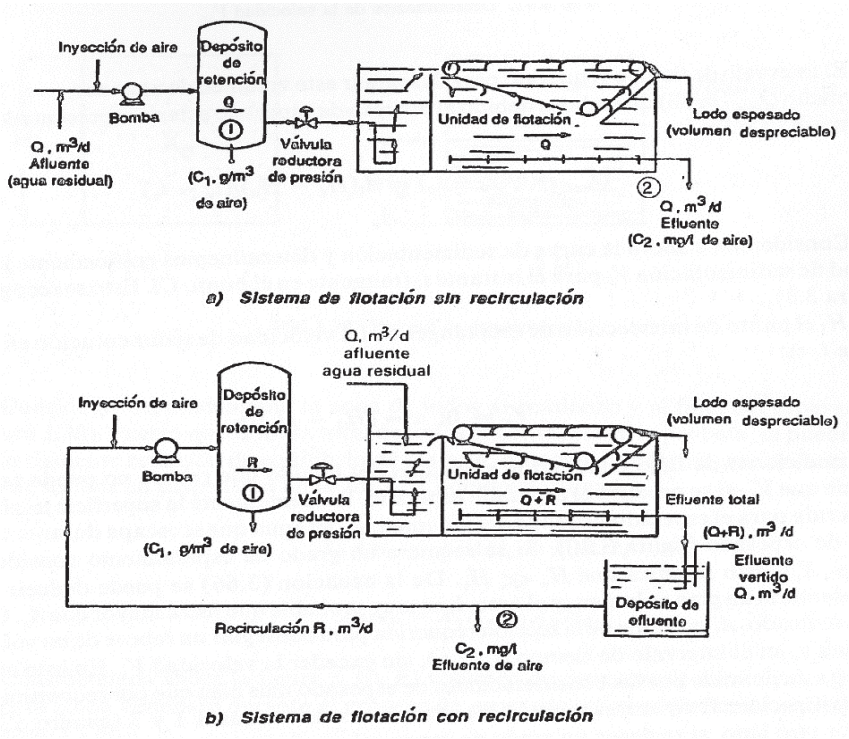


Figura 6. Sistema de floculación.

Tomado de (Ramalho, 1996, p. 147).

2.6.2.2.4. Neutralización y homogenización

Son mecanismos de mezcla en un solo sitio para homogenizar y neutralizar corrientes de aguas alcalina, ácidas y residuales; de esta manera en el caso de la neutralización se ejecuta cuando hay variaciones de pH y en procesos biológicos; mientras que en la homogenización se usa en: variaciones de corrientes de agua y de demanda bioquímica de oxígeno del efluente; adicionalmente, dependiendo de la necesidad requerida se aplica tipos de estanques de homogenización como: estanques de homogenización de nivel constante y variable (Ramalho, 1996, p. 154-155).

2.6.2.3. Tratamiento secundario

Son tratamientos que se aplican cuando se culmine el tratamiento primario, en esta secundaria se utiliza tratamientos biológicos como aeróbicos y anaeróbicos, puesto que se reduce los compuestos orgánicos que se encuentran presentes

en las aguas residuales; no obstante, para ejecutar este proceso se usa microorganismo para que transformen los desechos en energía (Mihelcic y Zimmerman, 2015, p. 475).

El metabolismo bacteriano es un proceso fundamental para: la oxidación de materia orgánica y la aceptación de electrones; por consiguiente, existen tres tipos de sistemas como:

- Sistemas anaerobios: la materia orgánica y el CO_2 funcionan como aceptores de electrones generando un producto como el carbono en su estado de reducción CH_4. En este caso se aplica en tratamientos de aguas residuales que no sean muy contaminadas y la ventaja de este sistema es de que se puede obtener un gas combustible y no es muy costoso (Rodríguez et al., 2006, p. 30).
- Sistemas aeróbicos: El O_2 funciona como elemento de aceptor de electrones, puesto que se producen altos rendimientos energéticos y fangos con poblaciones bacterianas aerobias. Este sistema se aplica más en las plantas de tratamiento de aguas residuales puesto que genera resultados óptimos (Rodríguez et al., 2006, p. 30).
- Sistemas anóxicos: se diferencian de los anteriores por la presencia de NO_3 y la ausencia del O_2 de tal manera que el aceptor de electrones es en NO_3, este sistema se aplica en procesos de des nitrificación (Rodríguez et al., 2006, p. 30).

Además, el tratamiento biológico más utilizado en la actualidad es el proceso de lodos activados, puesto que se funciona bien en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. El principio del mencionado proceso es la aireación con lodos activados y un tiempo determinado para reducir la carga de materia orgánica (Ramalho, 1996, pp. 412-413).

2.6.2.3.1. Procesos biológicos anaeróbicos

Es un tratamiento para aguas residuales de baja carga orgánica, debido a no suministra O_2; por lo que el tratamiento mencionado se usa en aguas residuales no muy contaminadas; sin embargo, este proceso se caracteriza por generar

biogás (Figura 7) (combustible usado para brindar energía eléctrica y térmica), el mismo que contiene dióxido de carbono (40-20%) y metano (60-80%) (Rodríguez et al., 2006, p. 34).

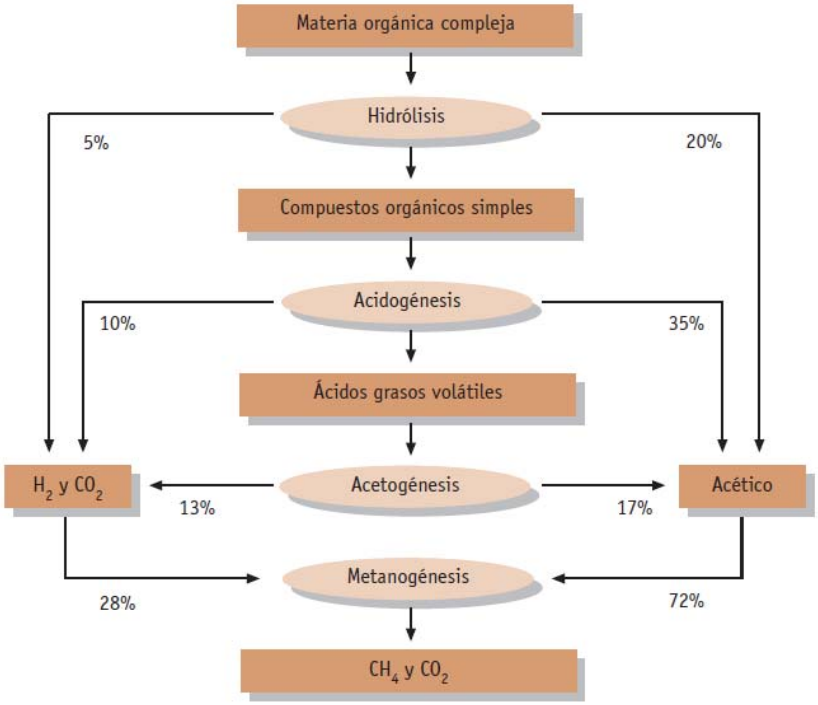


Figura 7. Ruta de degradación anaerobia.

Tomado de (Rodríguez et al., 2006, p. 36).

2.6.2.3.2. Proceso biológico aeróbico

Es un tratamiento bacteriano en presencia de oxígeno que genera dióxido de carbono mediante mecanismos de degradación aerobia (Figura 8); además, existen tipos de cultivos como: 1) cultivos en suspensión (lodos activados y operación de tratamiento) y 2) cultivos fijos (microorganismos inmovilizados y lechos bacterianos) (Rodríguez et al., 2006, p. 31).

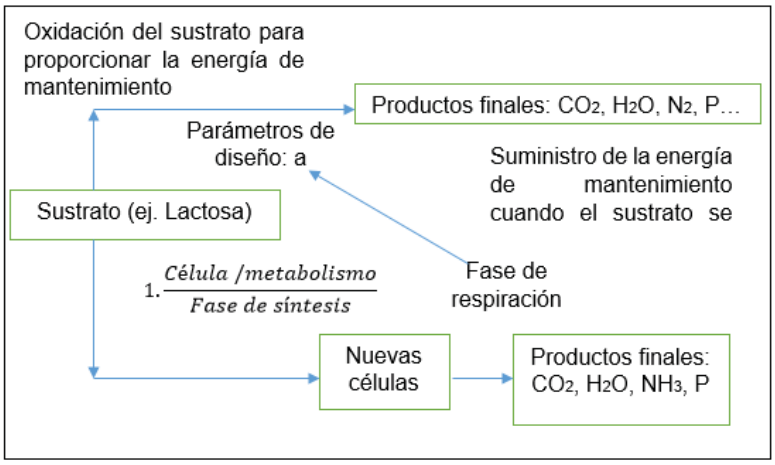


Figura 8. Mecanismo de degradación biológica aeróbica.

Adaptado de (Ramalho, 1996, p. 270).

2.6.2.3.2.1. Lodos activados

Los lodos activados son fangos activados que su principio es absorber la materia orgánica y degradarla mediante bacterias específicas; de tal manera que se efectúa un tratamiento al efluente; mediante la recirculación de fangos para el mantenimiento de la concentración de microorganismos dentro del reactor (deposito donde se ejecutan reacciones biológicas mediante el uso de microorganismos y enzimas) (Figura 9) (Rodríguez et al., 2006, pp. 31-32).

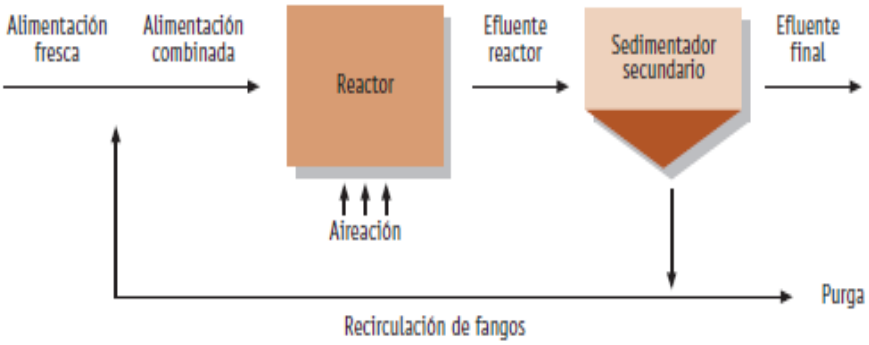


Figura 9. Proceso de fangos activados.

Tomado de (Rodríguez et al., 2006, p. 31).

El lodo activado se compone de: una masa floculenta de microorganismos y materia orgánica e inorgánica; de tal manera que desarrolla una superficie activa que tiene una capacidad de adsorción de materiales suspendidos y coloidales, es por esto que se le asigna el nombre de *activado*. El resultado de la aplicación de los lodos activados es la remoción de materia orgánica biodegradable, la misma que se transforma en compuestos inorgánicos y la síntesis de nuevas células. La capacidad adsortiva de los lodos activados es el material sintetizado mediante la oxidación biológica, en la (Figura 10) se observa el fenómeno de adsorción gráficamente, donde la curva punteada muestra el desarrollo de la oxidación biológica, la curva continua establece la remoción total en función del tiempo de contacto y la curva a rayas muestra el porcentaje de materia orgánica adsorbida y sintetizada en el protoplasma (Romero, 2002, p. 421).

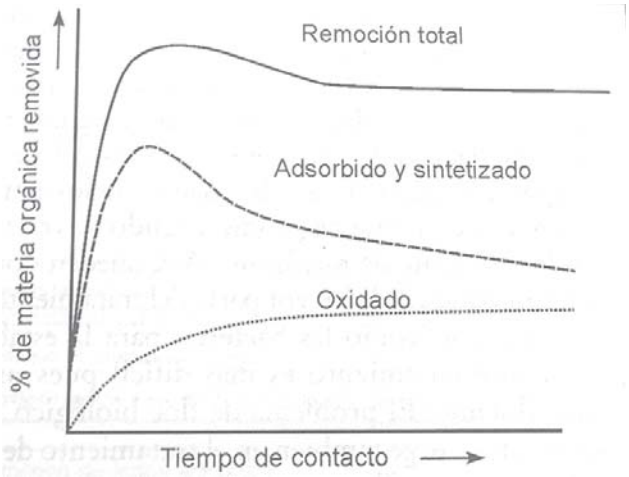


Figura 10. Remoción del material orgánico en función del tiempo, en un sistema de lodos activados.

Tomado de (Romero, 2002, p. 421).

El proceso biológico de los lodos activados se desarrolla en un medio acuático, el mismo que contiene varios microorganismos como protozoos, hongos, metazoos pequeños y bacterias (Figura 11); la comunidad de los lodos depende de: temperatura, pH, naturaleza del suministro alimenticio, turbulencia, concentración del alimento, tiempo de aireación y la concentración de lodos (Figura 12) (Romero, 2002, p. 422).

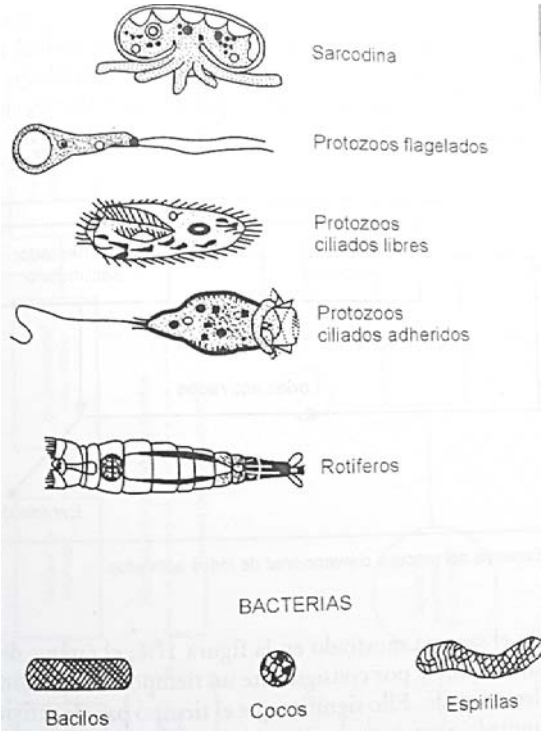


Figura 11. Microorganismos comunes del proceso de lodos activados.

Tomado de (Romero, 2002, p. 431).

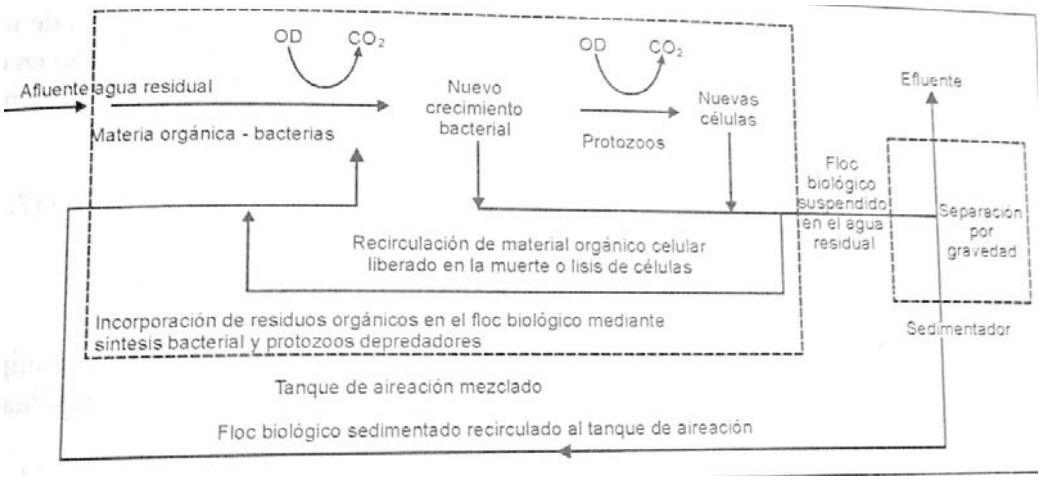


Figura 12. Esquema del proceso de lodos activados.

Tomado de (Romero, 2002, p. 423).

2.6.2.4. Tratamiento terciario

Es un tratamiento avanzado o final donde su principal objetivo es obtener un efluente con niveles permisibles de descarga respecto al efluente del tratamiento secundario; de tal manera que se percibe una calidad de agua de descarga. Existen tipos de tratamiento terciario como: adsorción en carbón activado, eliminación de sólidos suspendidos, osmosis inversa, intercambio iónico, electrodiálisis, procesos de oxidación química (ozonación y cloración), proceso de sonozone y eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) (Ramalho, 1996, p. 585).

2.7. Elementos de diseño de una plata de tratamiento de aguas residuales.

A continuación, se desarrollará los principales elementos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales y sus respectivos parámetros de diseño. Los cuales nos darán unas estructuras viables para su futura ejecución.

2.7.1. Canal

Un canal es un elemento de conducción de líquidos de un punto A, a un punto B, el cual puede ser un ducto cerrado o a cielo abierto.

2.7.2. Geometría de un canal

Los elementos geométricos típicos de un canal son la sección transversal, la pendiente longitudinal, la rugosidad y el tirante.

2.7.3. Pendiente longitudinal (So)

La pendiente longitudinal del canal (pendiente del fondo *So*), es la tangente del ángulo formado entre el fondo y la horizontal.

$$So = tan\theta \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Para evitar la erosión del lecho del fondo del canal y sus paredes es vital tomar una pendiente suave, no mayor a 8°, siendo lo ideal una pendiente del 1% la cual permitirá un flujo laminar con una velocidad media relativamente baja.

2.7.4. Sección transversal del canal

Es el área geométrica comprendida por la forma que describe el canal.

2.7.5. Ancho de superficie libre (T)

Es la distancia entre las paredes libres del canal.

2.7.6. Rugosidad

La rugosidad del canal depende de los materiales usados para su construcción. El cual influirá en el desempeño del mismo, puesto que la rugosidad del material inducirá al fluido a comportarse de una u otra forma.

2.7.7. Tirante del canal (y)

El tirante del canal es la distancia entre la superficie libre del fluido y el lecho del fondo del canal.

2.7.8. Perímetro mojado (P)

Es la longitud que comprende la línea de contacto entre el fluido y el canal.

2.7.9. Radio hidráulico (Rh)

Es la relación del área hidráulica y el perímetro mojado.

2.7.10. Pendiente hidráulica (Sf)

Variación de la energía por unidad de peso del fluido, dividido entre el recorrido del mismo (Figura 13).

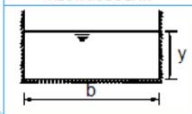
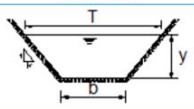
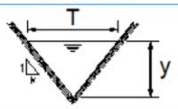
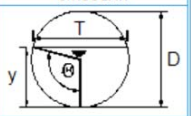
SECCION / ELEMENTO GEOMETRICO	RECTANGULAR	TRAPECIAL	TRIANGULAR	CIRCULAR
				
Área A	by	$(b+ky)y$	ky^2	$\frac{1}{4}\left(\theta - \frac{1}{2}sen2\theta\right)D^2$
Perímetro mojado P	$b+2y$	$b+2\sqrt{1+k^2}\,y$	$2\sqrt{1+k^2}y$	θD
Radio Hidráulico Rh	$\frac{by}{b+2y}$	$\frac{b(k+y)y}{b+2\sqrt{1+k^2}y}$	$\frac{ky}{2\sqrt{1+k^2}}$	$\frac{1}{4}\left(1-\frac{sen2\theta}{2\theta}\right)D$
Ancho de la superficie libre T	b	$b+2ky$	$2ky$	$sen\theta\ D$
Tirante medio A/T	y	$\frac{(b+ky)y}{b+2ky}$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{1}{4}\left(\frac{\theta-\frac{1}{2}sen2\theta}{sen\theta}\right)D$
Ángulo θ				$\theta = arc\cos\left(1-\frac{2y}{D}\right)$

Figura 13. Principales elementos geométricos de un canal en función de su geometría.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 34).

2.7.11. Canales

El flujo en canales abiertos es un caso especial de la Mecánica de Fluidos de gran relevancia para la ingeniería civil y medio ambiental. Con la geometría de un canal, ya sea natural o artificial, y la rugosidad de su pared, se desea determinar el caudal y la profundidad del flujo resultante. Normalmente las dimensiones del canal son grandes y el fluido es agua. Por tanto, como el número de Reynolds resultante es grande, los flujos en canales abiertos suelen ser turbulentos, tridimensionales, en ocasiones no estacionarios y a menudo muy complejos. Para ello aprovecharemos algunos de los conceptos introducidos en el análisis del flujo en conductos: radio hidráulico, coeficiente de fricción y pérdidas de calor (White, 2004, p. 95).

En mi diseño utilizaré uno de los principios de la mecánica de fluidos la cual me ayudara a disminuir la temperatura de los efluentes provenientes de la industria quesera. Lo cual me permitirá reducir considerablemente la temperatura, puesto que el agua residual de Friulatte se descarga a una temperatura de 70°C, no

obstante, se conseguirá que la temperatura de los efluentes baje y se transfiera a los tanques birreactores con una temperatura adecuada para la introducción de lodos activados.

Existen dos maneras de clasificar un canal las cuales son en función de su variación del calado, en otras palabras, seria si este se mueve en un régimen uniforme o variado. Y la otra seria en función del número de Froude; que relaciona la velocidad de la corriente y la velocidad de onda superficial (White, 2004, p. 168).

2.7.12. Caudal (Q)

El caudal es el volumen de agua que atraviesa la sección en una unidad de tiempo y se calcula con la fórmula:

$$Q = A * V \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

V: velocidad.

A: Área o sección transversal del fluido.

2.7.13. Velocidad media (Vm)

La velocidad media es el promedio de las velocidades de la sección

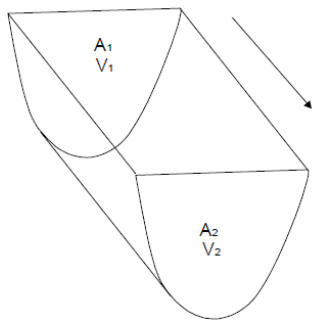
$$V_m = \frac{1}{A}\int_{A2}^{A1} V dA \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

V: velocidad.

A: Área o sección transversal del fluido.

2.7.14. Ecuación de conservación de masa

La ecuación de conservación de masas se refiere a que en un canal los caudales se mantienen constantes, lo único que cambia son las variables del área y velocidad (Figura 14).



$$Q1 = Q2$$

$$V1.A1 = V2.A2$$

Figura 14. Diagrama de conservación de la masa en función de su sección y su velocidad.

Adapatado de (White, 2004, p. 195).

Q: Caudal

V: Velocidad

A: Área o sección transversal del fluido.

2.7.15. Conservación de energía

Esta ecuación conserva la energia del flujo y toma las pérdidas de energia por factores de rugosidad del canal (Figura 15).

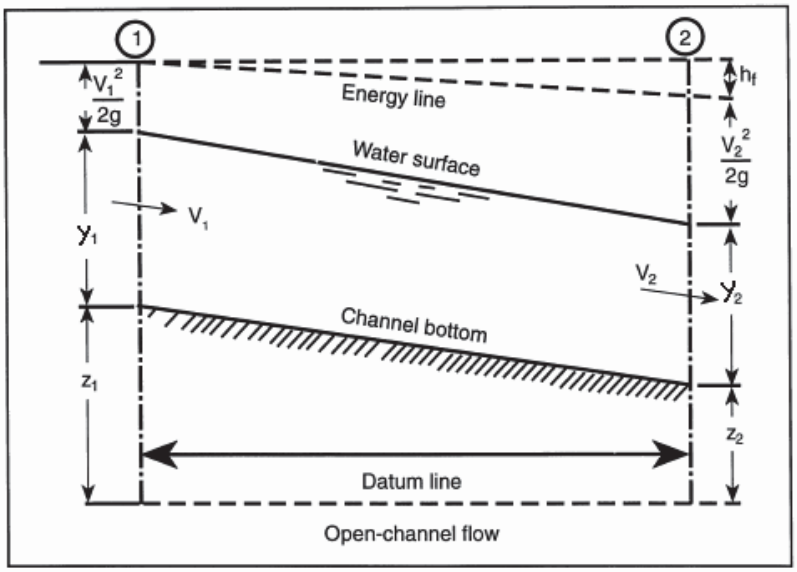


Figura 15. Grafico de la conservación de energía en un canal.

Adapatado de (White, 2004, p. 199).

$$y1 + z1 + \frac{V1^2}{2g} = y2 + z2 + \frac{V2^2}{2g} + \sum h_{1-2}$$ (Ecuación 4)

y1: tirante inicial

z1: cota inicial.

V1: velocidad inicial.

y2: tirante final.

z2: cota final.

V2: velocidad final.

Σ h 1-2: sumatoria de pérdida a lo largo del canal.

Donde *Σ h 1-2* es la sumatoria de pérdidas de energía. La cual se produce por factores como la rugosidad cambios de dirección y elementos estructurales que hacen que el flujo pierda energía.

A continuacion redactaremos los diferente parametros que influyen en la pérdida de energía del fluido que atravieza un canal desde su captación hasta su desembocadura.

2.7.16. Pérdidas por fricción (hf)

Para determinar las pérdidas por fricción se toma la ecuación de Manning y Darsy-Weisbachlas cuales considera la pérdida de energía por la fricción del fluido respecto a las paredes del material con respecto del elemento de conducción.

$$h_f = f\frac{L.V^2}{D2g}$$ (Ecuación 5)

Donde:

***f**: Factor de fricción dependiente del número de reinodls y la rugosidad relativa.*

***L**: Longitud del canal.*

***V**: Velocidad*

***g**: Gravedad*

Así también es posible utilizar la ecuación de Manning que es una de las mas usadas en el diseño de canales abiertos que asume una rugosidad en función del material que se utilizará en la ejecución de la obra (Figura 16).

$$Q = \frac{1}{n} {R_h}^{2/3} So^{1/2} A \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

Rh: Radio Hidráulico en metros

So: Pendiente longitudinal.

A: Área del canal.

n: Coeficiente de rugosidad del canal en función del material

CANALES ABIERTOS			
Tipo y descripción			*n (Normal)*
Tierra	Recto y uniforme	Limpio, reciente	0.018
		Limpio, intemperizado	0.022
		Grava, sección uniforme	0.025
		Con poca hierba y pasto	0.027
	Sinuoso, poca vel.	Sin vegetación	0.025
		Con pasto, algo de hierba	0.03
		Con hierba densa	0.035
	Excavado	Sin vegetación	0.028
		Con pocos arbustos	0.05
Roca	Cortado en roca	Liso y uniforme	0.035
		Con salientes agudas	0.04
Concreto		Acabado con llana metálica	0.013
		Acabado con llana de madera	0.015
		Sin acabado	0.017

Figura 16. Coeficiente de rugosidad en canales abiertos revestidos.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 35).

2.7.17. Pérdidas por cambio de dirección

La capa superior de flujo en un canal tiene mayor velocidad que el flujo cerca del fondo, debido al efecto de la fricción. Se requiere una fuerza mayor para desviar el flujo con alta velocidad, por lo tanto, cuando una corriente entre a una curva, el flujo con mayor velocidad se mueve hacia el exterior de la curva, a esta fuerza se le llama fuerza centrífuga (Figura 17) (Osman, 2006, p. 251).

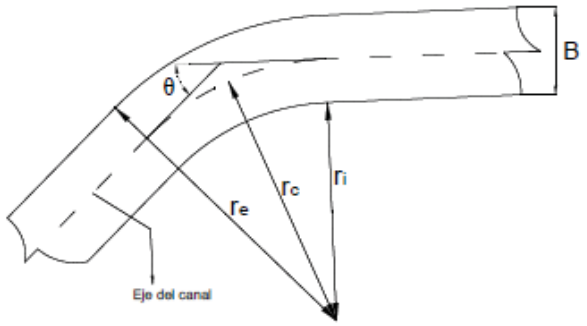


Figura 17. Pérdida de energía por cambio de dirección.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 251).

$$hc = k\frac{V^2}{2g} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

***V**: Velocidad.*

***g**: Gravedad.*

***k**: coeficiente de perdida por cambio de dirección.*

$$k = \frac{2b}{r_c} \qquad \text{(Ecuación 8)}$$

2.7.18. Pérdidas por transición

El cambio de transición se da cuando la sección transversal cambia su configuración geométrica, sea está ampliándose o reduciéndola según como convenga en el diseño.

Las transiciones se pueden clasificar en:

2.7.18.1. Transición de cuadrante cilíndrico: este tipo de transición es usada para expansiones de rectangular a trapecial y para contracciones de trapezoidal a rectangular. El radio del cuadrante es la mitad de la diferencia del ancho superior de los canales que conecta (Figura 18).

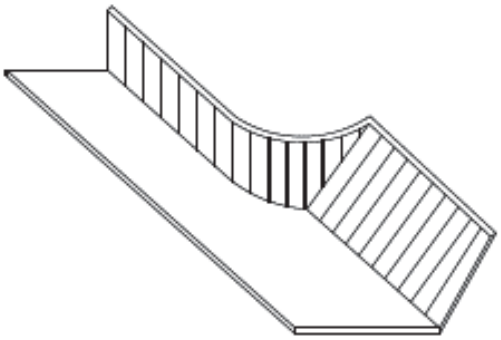


Figura 18. Transición de cuadrante cilíndrico.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 251).

2.7.18.2. Transición de cuadrante en cuña: este tipo de transición se aplica en un ángulo de expansión de 22.5° para transiciones de expansión y para transiciones de contracción 27.5 (Fig. 19). Los ángulos de contracción y expansión (β) pueden ser definidos mediante (Osman, 2006, p. 251).

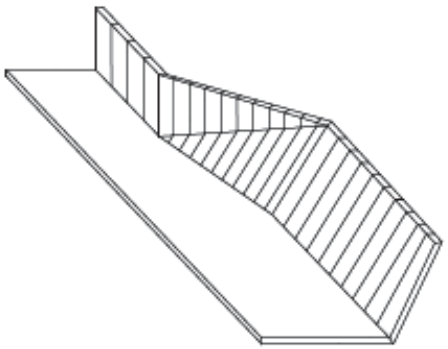


Figura 19. Transición de cuadrante en cuña.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 251).

$$\beta = actan\frac{\Delta T}{2L_T}$$ (Ecuación 9)

Donde:

ΔT es la diferencia del ancho superior de los canales que conecta

LT Longitud de transición, en m.

β Es limitado a 6° ver referencia

2.7.18.3. Transición de cuadrante alabeado: *Transiciones alabeadas* Morrison y Wiggert sugieren que para una transición de ampliación LT ≥ 2.25ΔT que resulta equivalente a β=12.5° aplicable a contracciones (Figura 20 y 21). Se obtuvo la siguiente expresión. (Osman, 2006, p. 251).

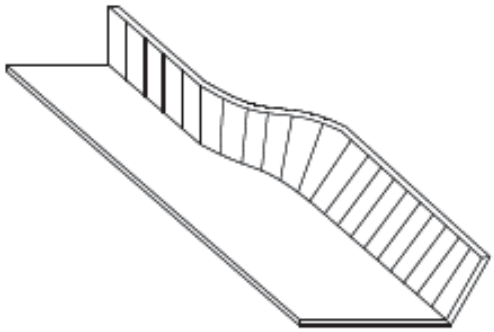


Figura 20. Transición de cuadrante alabeado.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 251).

$$L_T = 2.35\Delta b + 1.65 m_c y_c$$ (Ecuación 10)

Donde**:**

$\Delta b = [bc - bf]$ (Ecuación 11)

bc: ancho inferior del canal.

bf: ancho del canal rectangular.

yc: tirante critico

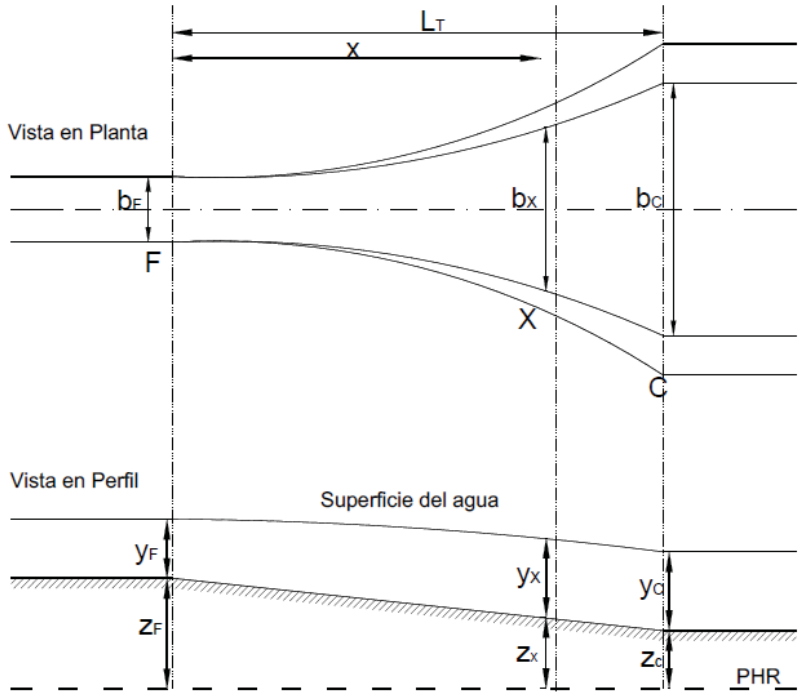


Figura 21. Transición entre canal rectangular a un trapezoidal.

Adaptado de (Osman, 2006, p. 252).

2.7.19. Clasificación del flujo según la variación del calado

Las condiciones de movimiento en régimen uniforme se dan aproximadamente en canales rectos largos con pendiente y sección transversal constantes. El movimiento en régimen uniforme en un canal se dice que tiene el *calado normal yn* del canal, que es un parámetro de diseño importante. Si la pendiente del canal o su sección transversal cambian, o si hay una obstrucción de la corriente, entonces el calado cambia y se dice que el régimen es variado. El movimiento es gradualmente variado si la aproximación unidimensional es válida y rápidamente variado si no lo es (White, 2004, p.221).

2.7.20. Clasificación del flujo según el número de Froude

Una segunda clasificación muy útil de los flujos en canales abiertos es según el valor del número adimensional de Froude, Fr, que es la relación entre la velocidad del flujo y la velocidad de propagación de las ondas superficiales

infinitesimales en el canal. Para un canal rectangular o muy ancho con calado constante, el número de Froude toma la forma (Figura 22) (White, 2004, p. 234).

$$Fr = \frac{\text{velocidad de la corriente}}{\text{velocidad de onda superficial}} = \frac{V}{\sqrt{gy}} \qquad \text{(Ecuación 12)}$$

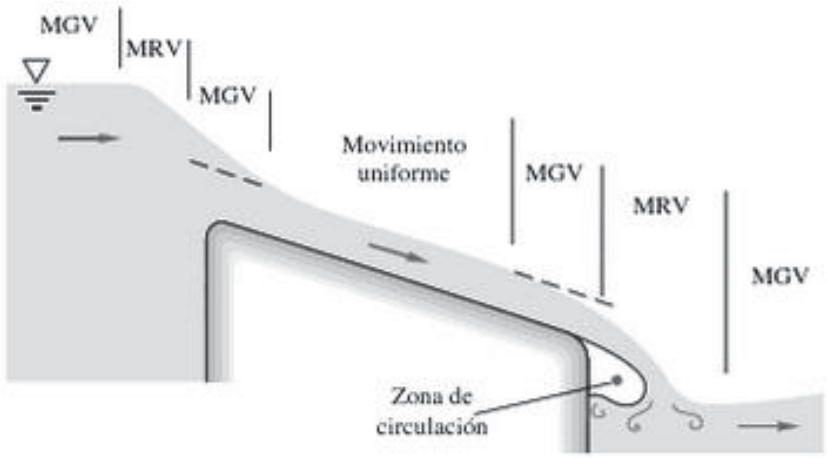


Figura 22. Clasificación del flujo de canales abiertos en regiones de movimiento rápidamente variado (MRV), gradualmente variado (MGV) y movimiento variado. Adaptado de (White, 2004, p.234).

Donde “y” es el calado del agua. El flujo se comporta de manera distinta en los siguientes tres regímenes:

Fr < 1,0 movimiento en régimen lento

Fr = 1,0 movimiento en régimen crítico

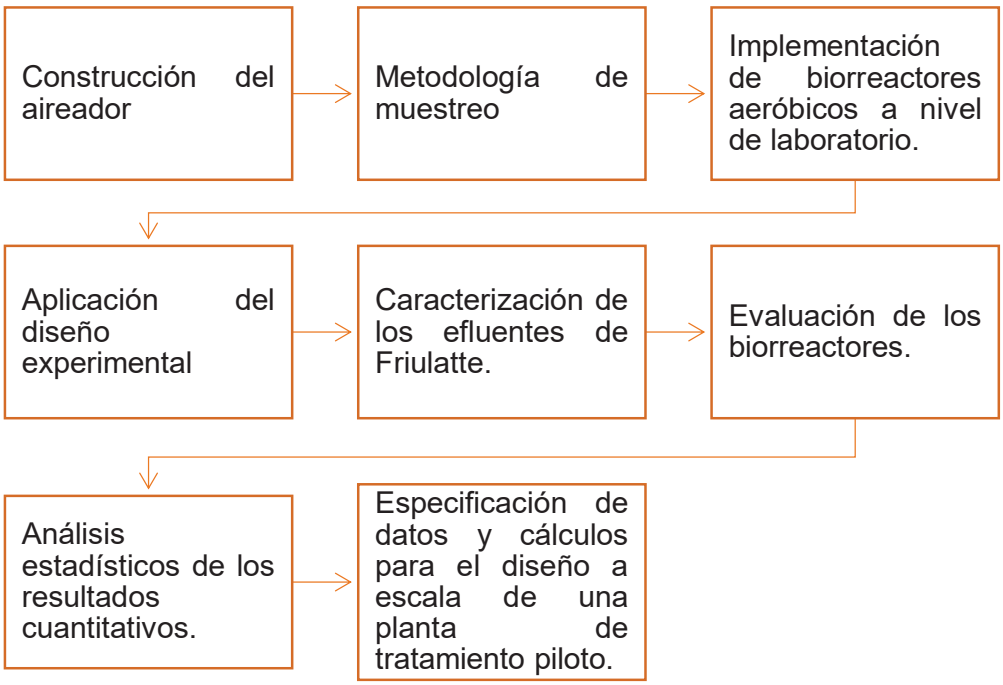
Fr > 1,0 movimiento en régimen rápido

2.7.21. Carta topográfica

Es la representación gráfica del terreno en el plano, en la cual se obtiene: la información de la posición geográfica en coordenadas (utm), la pendiente del terreno y cuencas hidrográficas (Anexo 30).

3. Diseño del plan experimental

En esta sección se muestran las metodologías ejecutadas a lo largo del presente estudio para lograr los objetivos planteados.



Valiable independiente	• Agua residual proveniente del efluente lacteo, concentración de lodos activados y tiempo de aireación.
Valiable dependiente	• Niveles de DQO y DBO_5.

El diseño experimental es un diseño aleatorio de tipo factorial 2^2 (Tabla 3).

Tabla 3.

Variables independientes.

Variable	Nivel inferior	Nivel superior
Tiempo de aireación	8 Horas (A1)	12 Horas (A2)
Lodos activados	90 mL (C1)	130 mL (C2)

Los experimentos a realizarse serán 4 con 3 réplicas por cada tratamiento, con un total de 12 experimentos ver Tabla 4.

Tabla 4.

Unidades experimentales.

Muestra	Contenido	Promedio denominado
Muestra inicial (3 repeticiones)	Muestra problema	Inicio
Tratamiento 1 (3 repeticiones)	A1 C1	A8
Tratamiento 2 (3 repeticiones)	A1 C2	B8
Tratamiento 3 (3 repeticiones)	A2 C1	A12
Tratamiento 4 (3 repeticiones)	A2 C2	B12
Control C8 (1 repetición)	A1	C8
Control C12 (1 repetición)	A2	C12

4. Metodología

En esta sección se muestra la metodología aplicada a lo largo del presente estudio. Primeramente, se aclarará que los estudios y análisis de la presente investigación se realiza en Fabrilacteos; y el muestreo se realiza en Friulatte.

4.1. Muestreo de efluentes provenientes de Friulatte

La muestra problema fue tomada de acuerdo a los datos del caudal proveniente de Friulatte, de tal manera que esta muestra sea representativa respecto a los efluentes de Friulatte; posteriormente, para la muestra problema se tomó en un día de producción de 8 am a 6 pm en Friulatte; además, se tomó un volumen de 20L de efluente generado, la misma que contiene (10 L de suero de leche, 7 litros de agua y 3 litros de agua de hilado de queso), dicha muestra se almacenó en un bidón de agua y se mantuvo en refrigeración a 4°C para su posterior análisis.

4.1.1. Cálculo de caudal

Para el cálculo del caudal se aplicó la siguiente ecuación (13), para ello se utilizó una jarra plástica de un litro y se tomó efluente durante un tiempo promedio (Anexos 4 y 5).

Q= volumen de caudal (L) / tiempo (s) (Ecuación 13)

4.2. Implementación de biorreactores aeróbicos a nivel de laboratorio

4.2.1. Construcción de aireador

El aireador se construyó el aireador para manejarlo manualmente y de esta manera se regula el aire y se adecua las entradas de aire en cada biorreactor.

Para la construcción del aireador se realizó con el taladro pequeños agujeros con la broca de 5 milímetros en el tubo plástico, para instalar las llaves de aire; las mismas que se conectaron con las mangueras y los difusores. Seguidamente, se cortó la madera triple bajo la medida del compresor de aire. Hecho esto se une la salida de aire del compresor con la manguera de ½ pulgada, la misma que se unió al tubo plástico; finalmente, se verificó las fugas de aire para cubrirlas con teflón (Figura 32 y 36).

4.2.2. Balance del pH

La muestra problema, al contener un pH ácido de 4,69, se procedió a añadirle 17,5 g de cal apagada (hidróxido de calcio) diluido en un litro de agua, el cual se agregó a la muestra problema (20L). Obteniendo un pH de 6,97, para que el pH se encuentre en un rango de (6,5 – 8) y se dé la adaptación de los lodos activados.

4.2.3. Establecimiento de los biorreactores a escala de laboratorio

De la muestra problema se tomaron 500 mL para un análisis inicial por triplicado, donde se determinaron las características de análisis del efluente en un tiempo inicial.

Posteriormente, se procedió a colocar 800 mL de la muestra problema en las catorce botellas ámbar; hecho esto se especifica los distintos tratamientos, los mismos que son:

- Tratamiento 1 (8 h de aireación y 90 mL de lodos activados).
- Tratamiento 2 (8 h de aireación y 130 mL de lodos activados).
- Tratamiento 3 (12 h de aireación y 90 mL de lodos activados).
- Tratamiento 4 (12 h de aireación y 130 mL de lodos activados).
- Control 1 (8 h de aireación).
- Control 2 (12 h de aireación).

Seguidamente, se reguló manualmente el aire con las llaves colocadas respectivamente. Además, se trabajó con los lodos activados provenientes de Fabrilacteos CIA. LTDA.: puesto que esto favorecerá a la estabilización y adaptación de los mismos; ya que, estos lodos se encuentran en aguas lácteas. Adicionalmente, se etiquetó cada biorreactor para una mejor especificación (Tabla 5).

Tabla 5.

Etiquetación de los biorreactores.

Experimento	Nominación			Nominación del promedio
Muestra inicial (muestra problema)	M1	M2	M3	Inicio
Tratamiento 1 (8 horas de aireación y 90 mL de lodos activados)	T1 a	T1 b	T1 c	A8
Tratamiento 2 (8 horas de aireación y 130 mL de lodos activados)	T2 a	T2 b	T2 c	B8
Tratamiento 3 (12 horas de aireación y 90 mL de lodos activados)	T3 a	T3 b	T3 c	A12
Tratamiento 4 (12 horas de aireación y 130 mL de lodos activados)	T4 a	T4 b	T4 c	B12
Control 1 (8 horas de aireación)	C 8			C8
Control 2 (12 horas de aireación)	C 12			C12

4.3. Caracterización de los efluentes de Friulatte

4.3.1. Medición de porcentaje de grasa, solidos no grasos, densidad, proteína, temperatura, lactosa, conductividad y pH

Para la obtención de dichos porcentajes se tomó 10 mL y se midió en el equipo Ekomilk total durante cinco minutos.

4.3.2. Medición de Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO_5)

Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO_5), se tomó 2.5 mL de la muestra y se le colocó en un matraz de 100 mL, el mismo que se aforó con agua destilada; hecho esto se toma 2 mL de la solución del matraz y se colocó en el vial (Solución digestiva de Demanda Química de Oxígeno); el mismo que se ubicó en el reactor de digestión (DRB-200) por 2 horas a 150°C; transcurrido este tiempo se retiró las muestras del reactor de digestión y se colocó en una gradilla a temperatura ambiente para que la muestra se pueda manipular y posteriormente se midió en el colorímetro (DR-890) aplicando el programa N17; para dicha medición, primeramente se midió el blanco (2mL de agua destilada en el vial (Solución digestiva de Demanda Química de Oxígeno)) y luego se midió la muestra de análisis.

4.3.3. Medición del Oxígeno disuelto (OD)

Oxígeno disuelto (OD), se midió directamente en la muestra de análisis con el oxímetro (YSI 550 Aquatic Eco-systems), durante 10 minutos.

4.3.4. Medición de sólidos suspendidos (SS)

Sólidos suspendidos, se extrajo 5 mL de la muestra y se dispuso en el tubo de 25 mL del colorímetro (DR-890), posteriormente se aforó con agua destilada; hecho esto se midió en el colorímetro aplicando el programa 94; para dicha medición primeramente se midió el blanco (25mL de agua destilada) y luego se midió la muestra de análisis descrita anteriormente.

4.3.5. Medición de sólidos disueltos (SD)

Sólidos disueltos, se midió directamente en la muestra de análisis con el multipámetro, durante 2 minutos.

4.3.6 Medición de fosfatos

Fosfatos, se tomó 4 mL de muestra y se colocó en el Erlenmeyer de 50 mL, posteriormente se aforó con agua destilada hasta los 20 mL, hecho esto, se agregó el reactivo PhosVer 3 Phosphate, seguidamente, se revolvió y se esperó 2 minutos para colocar 5mL en el tubo dispensador, que se procedió a comparar con el blanco, el mismo que contenía 20 mL del control.

4.4. Determinación de parámetros de análisis

Una vez que se obtuvo la muestra problema y la implementación de los biorreactores, se procedió a ejecutar la determinación de los parámetros de análisis, para ello se tomó 150 mL por muestra; basando en la Tabla 7, se aplicó el apartado 4.5 por cada experimento respectivamente.

4.5. Evaluación de la eficiencia del tratamiento

A cada biorreactor con condiciones variables de oxigenación y concentraciones de lodos activados se valoraron respectivamente su eficiencia respecto a la DBO_5, DQO, pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y fosfatos.

4.6. Análisis estadístico de cada tratamiento

En este apartado, se procedió a analizar la prueba de hipótesis unilateral mediante la distribución de *t*- Student, puesto que, dichos análisis aceptan y rechazan la hipótesis planteada según cada tratamiento. Además, se determinó la desviación estándar para medir el número de errores típicos mediante la barra de error.

$$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}} \qquad \text{(Ecuación 14)}$$

4.7. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

Finalmente, con los resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio se diseñó una planta de tratamiento biológico aeróbico.
A partir de las características de relieve del terreno y caudal de la planta Friulatte, posteriormente se realizó el diseño del sistema de canalización y conducción al sistema de tratamiento biológico.
Con los datos obtenidos en el ensayo explicado en la eficiencia del tratamiento para definir el tiempo de oxigenación, la concentración de lodos activados y el tiempo de retención del reactor biológico para su adecuado tratamiento.

5. Resultados y discusión

5.1. Variación de demanda química de oxígeno

En esta sección se describe el cambio de la demanda química de oxígeno (DQO) de acuerdo a los distintos tratamientos mencionados anteriormente en la Tabla 4 y 5.

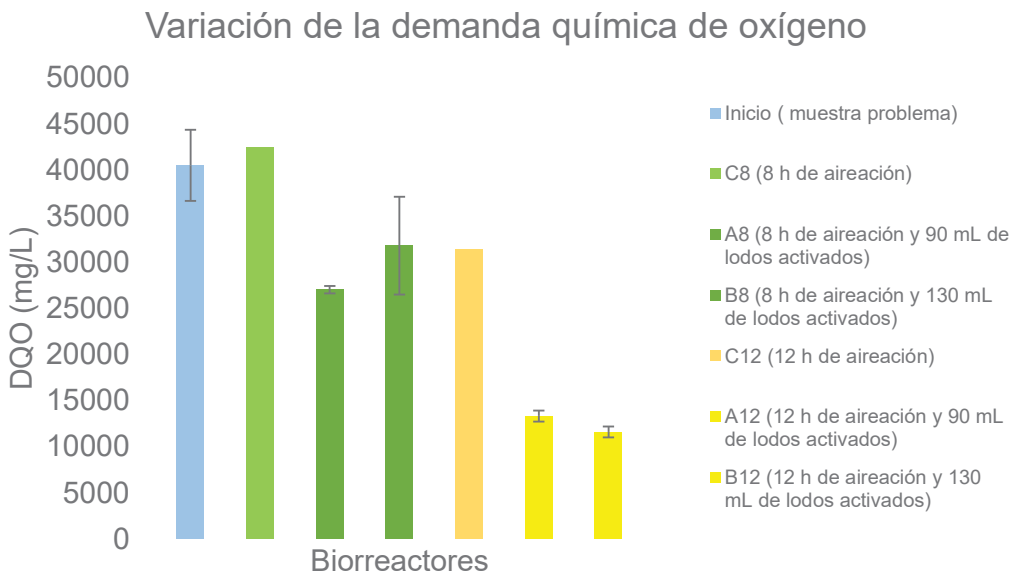


Figura 23. Variación de la demanda química de oxígeno.

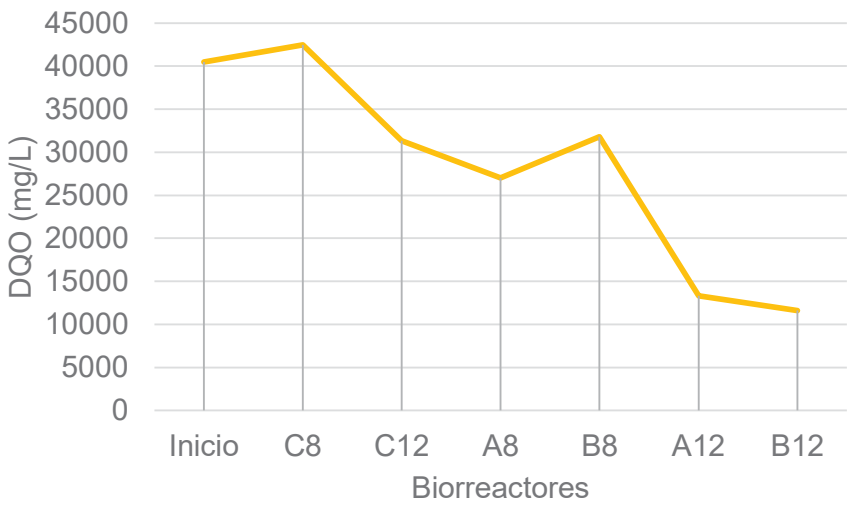


Figura 24. Eficiencia de reducción según la demanda química de oxígeno.

5.1.1. Análisis de la demanda química de oxígeno en 8 horas de aireación

En los resultados C8 vs A8 y C8 vs B8 (Figura 23 y 24), se comparó entre C8 (800 mL de la muestra problema y 8 horas de aireación) - A8 (90 mL de lodos activados y 8 horas de aireación) y C8 – B8 (130 mL de lodos activados y 8 horas de aireación), se observó una disminución de la demanda química de oxígeno en los dos casos, puesto que, se oxida la materia orgánica por medio del oxígeno generando dióxido de carbono mediante mecanismos de degradación biológica aerobia (Rodríguez et al.,2006, pp. 30-31). Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A8 es el análisis adecuado, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la DQO de C8 a A8, a diferencia del análisis estadístico de B8 donde se rechaza la hipótesis, según el número especificado de errores típicos que se muestra en la barra de error en B8 (Tabla 6).

Tabla 6.

Distribución t – Student en A8 y B8.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=42480		
Para A8			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{27026{,}67 - 42480}{402{,}66/\sqrt{2}}$		t=	-54,275
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=42480		
Para B8			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{31800 - 42480}{5302{,}83/\sqrt{2}}$		t=	-2,848
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
	Por lo tanto se rechaza Ho		

5.1.2. Análisis de la demanda química de oxígeno en 12 horas de aireación

En los resultados C12 vs A12 y C12 vs B12 (Figura 23 y 24), se comparó entre C12 (800 mL de la muestra problema y 12 horas de aireación) – A12 (90 mL de lodos activados y 12 horas de aireación) y C12 – B12 (130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación), se observó una disminución de la demanda química de oxígeno en los dos casos, puesto que, se oxida la materia orgánica por medio del oxígeno generando dióxido de carbono mediante mecanismos de degradación biológica aerobia (Rodríguez et al.,2006, pp. 30-31). Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A12 y B12 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la DBO_5 en C12, respecto a la DBO_5 en A12 y B12 (Tabla 7).

Tabla 7.

Distribución t – Student en A12 y B12.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=31360		
Para A12			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{13320 - 31360}{31360/\sqrt{2}}$		t=	-42,711
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=31360		
Para B12			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{11600 - 31360}{31360/\sqrt{2}}$		t=	-47,426
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.1.3. Reducción de demanda química de oxígeno

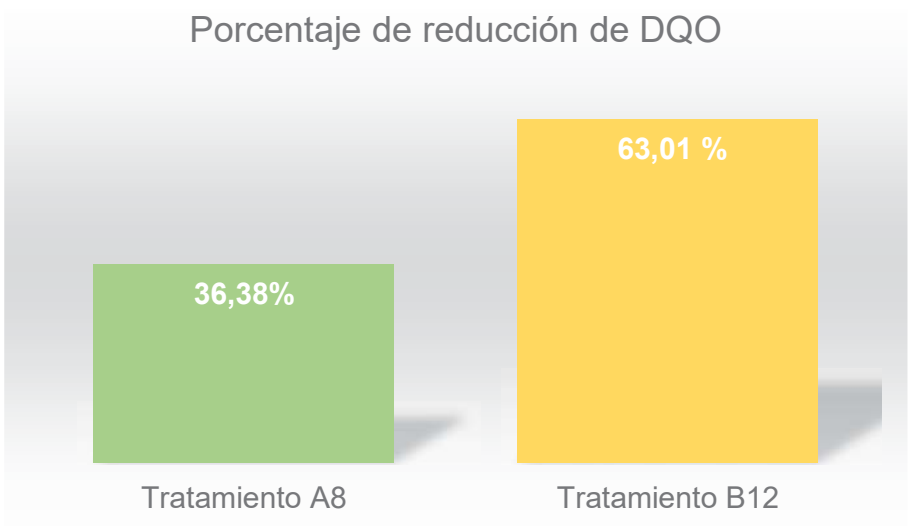


Figura 25. Porcentaje de remoción de DQO.

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, se escogió los tratamientos A8 y B12, puesto que, se obtuvo una mejor reducción de DQO (Anexo 9), cabe mencionar que la reducción de DQO en el tratamiento A8 (36,38%) fue menor respecto al tratamiento B12 (63,01%) (Figura 25), debido a la aplicación experimental de un tiempo de aireación de 8h junto con una concentración de lodos activados de 90mL; además la eficiencia de un tratamiento de aguas residuales se expresa de acuerdo a la disminución de la demanda química de oxígeno (DQO), en este caso es el tratamiento B12 (Ramalho, 1996, p. 270).

5.2. Variación de demanda bioquímica de oxígeno

En esta sección se describe el cambio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de acuerdo a los distintos tratamientos mencionados anteriormente en las Tablas 4 y 5.

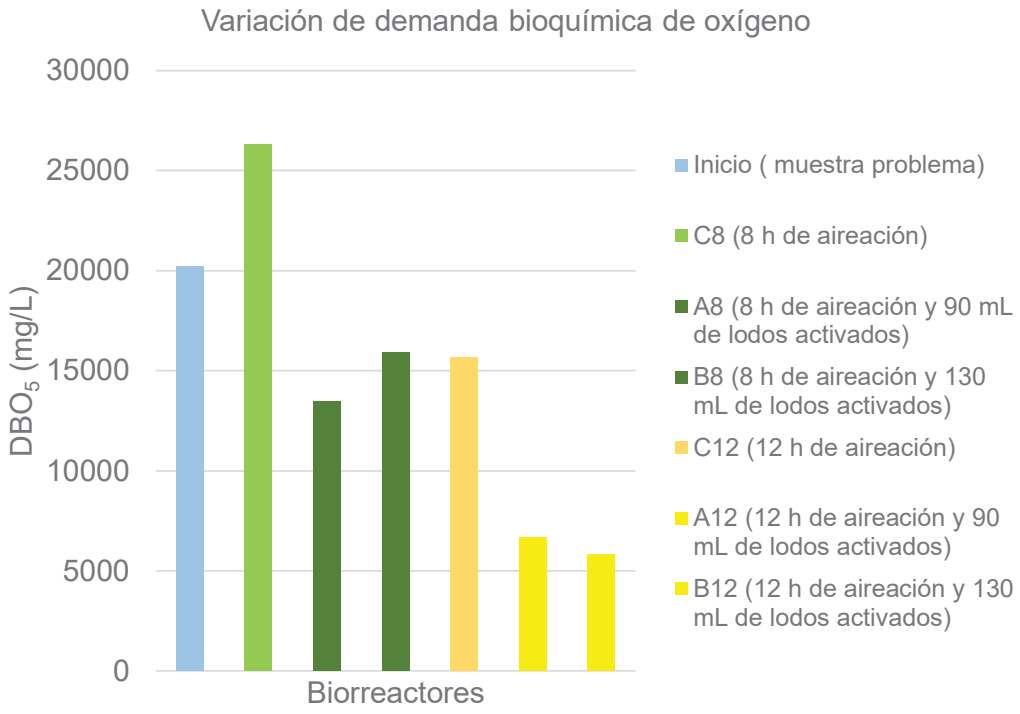


Figura 26. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno.

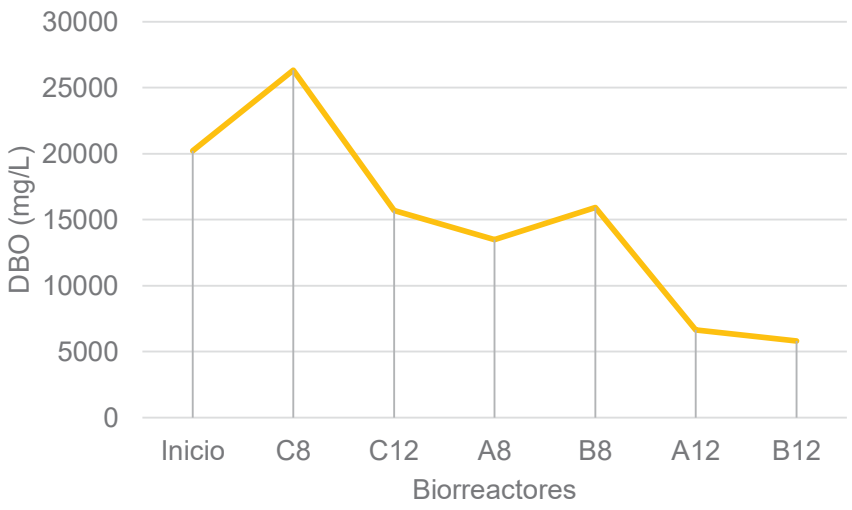


Figura 27. Eficiencia de reducción según la demanda bioquímica de oxígeno.

5.2.1. Análisis de la demanda química de oxígeno en 8 horas de aireación

En los resultados C8 vs A8 y C8 vs B8 (Figuras 26 y 27), se comparó entre C8 (800 mL de la muestra problema y 8 horas de aireación) - A8 (90 mL de lodos activados y 8 horas de aireación) y C8 – B8 (130 mL de lodos activados y 8 horas de aireación), se observó una disminución de la demanda química de oxígeno, puesto que, se mide la cantidad de materia orgánica (biodegradable) consumida por agentes biológicos, mediante el consumo de sustrato en los tratamientos biológicos, que se basa en el metabolismo celular (fase de síntesis, donde el sustrato es consumido por microorganismos para sintetizar nuevas células) y en el metabolismo energético (proceso de oxidación del sustrato restante, que genera productos finales (H_2O y CO_2) y funciones vitales de los microorganismos (movilidad y la síntesis de nuevas células)), además, la ecuación que se forma según la oxidación de sustrato (lactosa) es ((CH_2O)+O_2→ CO_2+H_2o)) (Ramlho,1996, p. 269).

Adicionalmente, según análisis estadísticos A8 y B8 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la DBO_5 en C8, respecto a la DBO_5 de A8 y B8 (Tabla 8).

Tabla 8.

Distribución t – Student en A8 y B8.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=26330		
Para A8			
		t=	-89,724
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{13480{,}33 - 26330}{26330/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=26330		
Para B8			
		t=	-5,567
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1590{,}767 - 26330}{26330/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.2.2. Análisis de la demanda química de oxígeno en 12 horas de aireación

En los resultados C12 vs A12 y C12 vs B12 (Figuras 26 y 27), se comparó entre C12 (800 mL de la muestra problema y 12 horas de aireación) – A12 (90 mL de lodos activados y 12 horas de aireación) y C12 – B12 (130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación), se observó una disminución de la demanda bioquímica de oxígeno, puesto que, se mide la cantidad de materia orgánica (biodegradable) consumida por agentes biológicos, mediante el consumo de sustrato en los tratamientos biológicos, que se basa en el metabolismo celular (fase de síntesis, donde el sustrato es consumido por microorganismos para sintetizar nuevas células) y en el metabolismo energético (proceso de oxidación del sustrato restante, que genera productos finales (H_2O y CO2) y funciones vitales de los microorganismos (movilidad y la síntesis de nuevas células)), además, la

ecuación que se forma según la oxidación de sustrato (lactosa) es ((CH_2O)+O_2→ CO_2+H_2o)) (Ramlho,1996, p. 269). Además, la eficiencia de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno se genera en tanques de aireación con períodos prolongados de aireación, debido a que el desarrollo de los microorganismos se encuentra en la fase endógena (Romero, 2002, p. 442).

Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A12 y B12 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la DBO_5 en C12, respecto a la DBO_5 de A12 y B12 (Tabla 9).

Tabla 9.

Distribución t – Student en A12 y B12.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=15688		
Para A12			
		t=	-42,993
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{6659{,}33 - 15688}{15688/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=15688		
Para B12			
		t=	-46,308
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{5808{,}33 - 15688}{15688/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.2.3. Reducción de demanda bioquímica de oxígeno

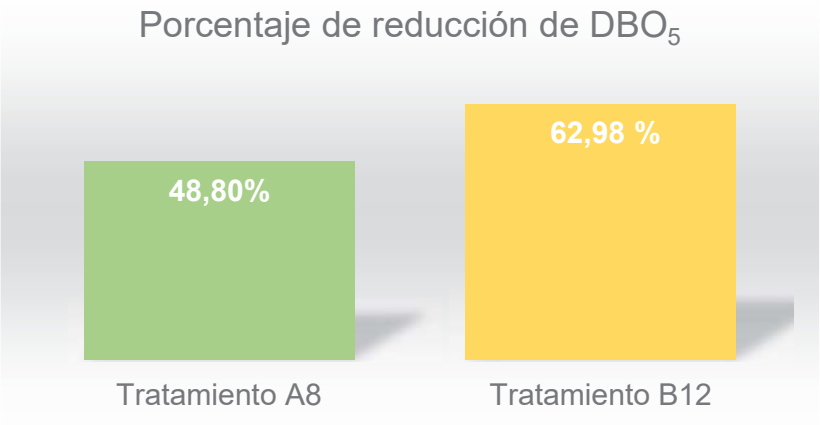


Figura 28. Porcentaje de reducción de DBO_5

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, se escogió los tratamientos A8 y B12, puesto que, se obtuvo una mejor reducción de DBO_5 (Anexo 10), cabe mencionar que el porcentaje de reducción de DBO_5 en el tratamiento A8 (48,80%) fue menor respecto al tratamiento B12 (62,98%) (Figura 28), debido a la aplicación experimental de un tiempo de aireación de 8h junto con una concentración de lodos activados de 90mL; además, la DBO_5 es la oxidación de materia orgánica (biodegradable) mediante la oxidación aerobia con microorganismos, por consiguiente, el tratamiento B12 tiene un porcentaje aceptable para la reducción de la DBO_5, debido a que, la materia orgánica (sustrato) se consume continuamente para sustentar el metabolismo energético y celular (Ramalho, 1996, pp. 269-270).

5.3. Análisis de oxígeno disuelto

En esta sección se describe el cambio del oxígeno disuelto (OD) de acuerdo a los distintos tratamientos mencionados anteriormente en las Tablas 4 y 5.

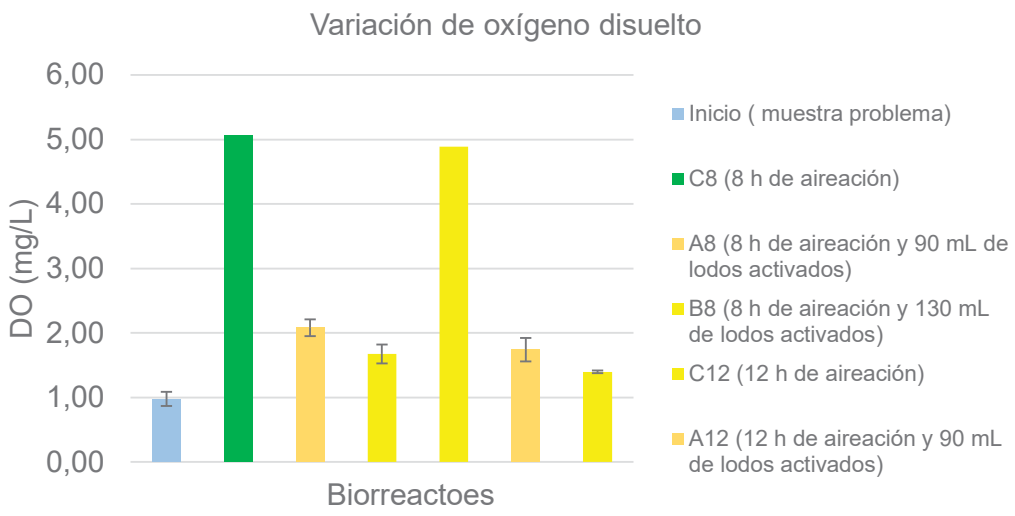


Figura 29. Variación del oxígeno disuelto.

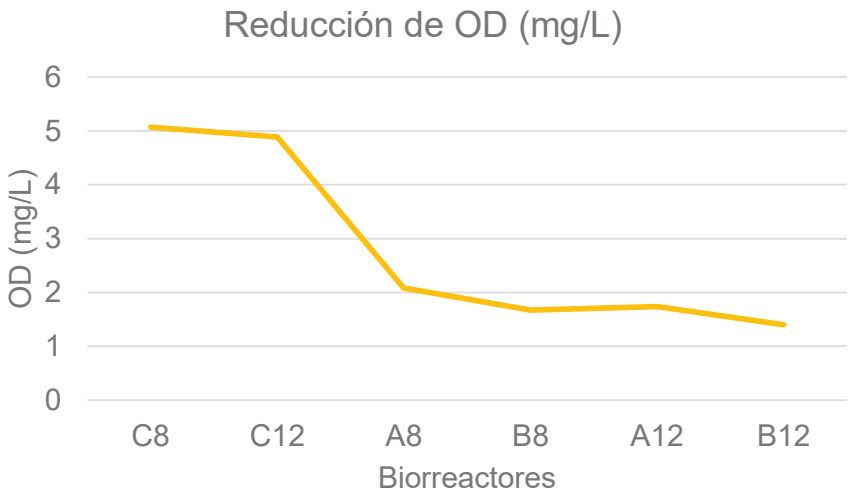


Figura 30. Eficiencia de reducción según el oxígeno disuelto.

5.3.1. Análisis del oxígeno disuelto en 8 horas de aireación

En los resultados C8 vs A8 y C8 vs B8 (Figuras 29 y 30), se comparó entre C8 (800 mL de la muestra problema y 8 horas de aireación) - A8 (90 mL de lodos

activados y 8 horas de aireación) y C8 – B8 (130 mL de lodos activados y 8 horas de aireación), se observó una disminución del oxígeno disuelto, puesto que, efectúa la degradación biológica cuando el oxígeno disuelto no es menor a 0,5 mg/L, de esta manera los microorganismos consumen el oxígeno presente en los distintos tratamientos (Ramalho, 1996, p. 261).

De acuerdo a datos estadísticos el tratamiento A8 y B8 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la OD en C8, respecto al OD de A8 y B8 (Tabla 10).

Tabla 10.

Distribución t – Student en A8 y B8.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=5,07		
Para A8			
		t=	-32,527
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{2{,}08 - 5{,}07}{5{,}07/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=5,07		
Para B8			
		t=	-32,811
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1{,}67 - 5{,}7}{5{,}07/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.3.2. Análisis del oxígeno disuelto en 12 horas de aireación

En los resultados C12 vs A12 y C12 vs B12 (Figuras 29 y 30), se comparó entre C12 (800 mL de la muestra problema y 12 horas de aireación) – A12 (90 mL de lodos activados y 12 horas de aireación) y C12 – B12 (130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación), se observó una disminución del oxígeno disuelto, puesto que, efectúa la degradación biológica cuando el oxígeno disuelto no es menor a 0,5 mg/L, de esta manera los microorganismos consumen el oxígeno presente en los distintos tratamientos (Ramalho, 1996, p. 261).

De acuerdo a datos estadísticos el tratamiento A12 y B12 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la OD en CO, respecto al OD de A12 y B12 (Tabla 11).

Tabla 11.

Distribución t – Student en A12 y B12.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=4,89		
Para A12			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1,74 - 4,89}{4,89/\sqrt{2}}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=4,89		
Para B12			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1,40 - 4,89}{4,89/\sqrt{2}}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.3.3. Reducción del oxígeno disuelto

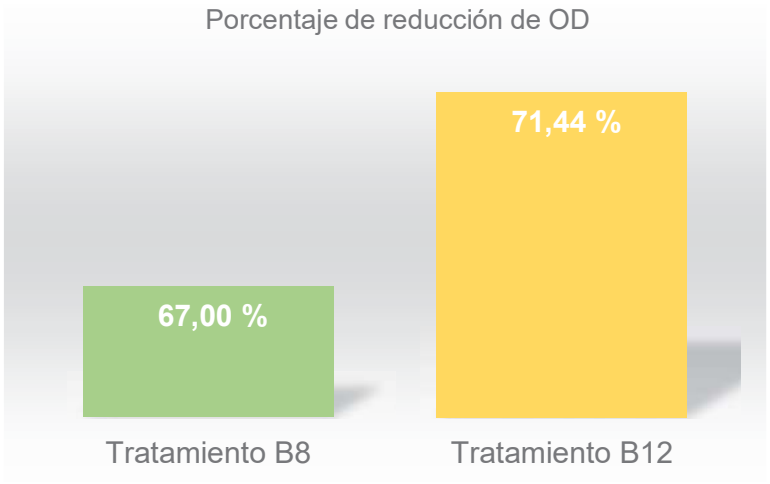


Figura 31. Porcentaje de reducción del oxígeno disuelto.

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, se escogió los tratamientos B8 y B12, puesto que, se obtuvo una mejor reducción de OD (Anexo 11), cabe mencionar que el porcentaje de reducción de OD en el tratamiento B8 (67,00%) fue menor respecto al tratamiento B12 (71,44%) (Figura 31), debido a la aplicación experimental de un tiempo de aireación de 8h junto con una concentración de lodos activados de 130mL; además, la OD es la cantidad de oxígeno presente en un medio líquido, por consiguiente, el tratamiento B12 tiene un porcentaje aceptable para la reducción del OD, debido a que, los microorganismos consumen el oxígeno presente en los tratamientos (Romero, 2002, pp. 441-442).

5.4. Análisis de los sólidos suspendidos

En esta sección se describe el cambio de los sólidos suspendidos (SS) de acuerdo a los distintos tratamientos mencionados anteriormente en las Tablas 4 y 5.

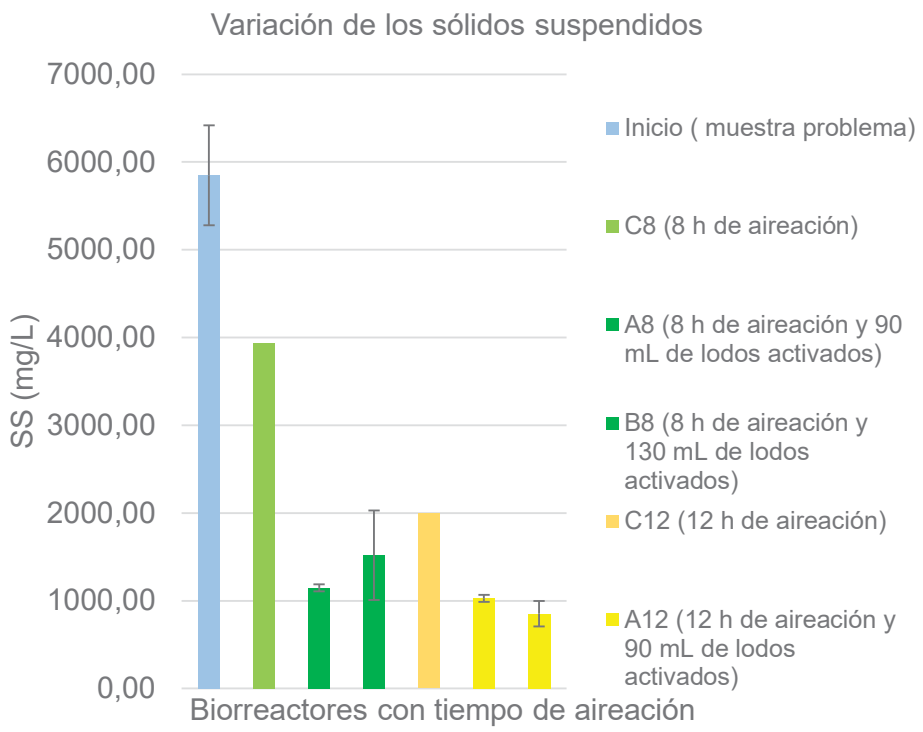


Figura 32. Variación de los sólidos suspendidos.

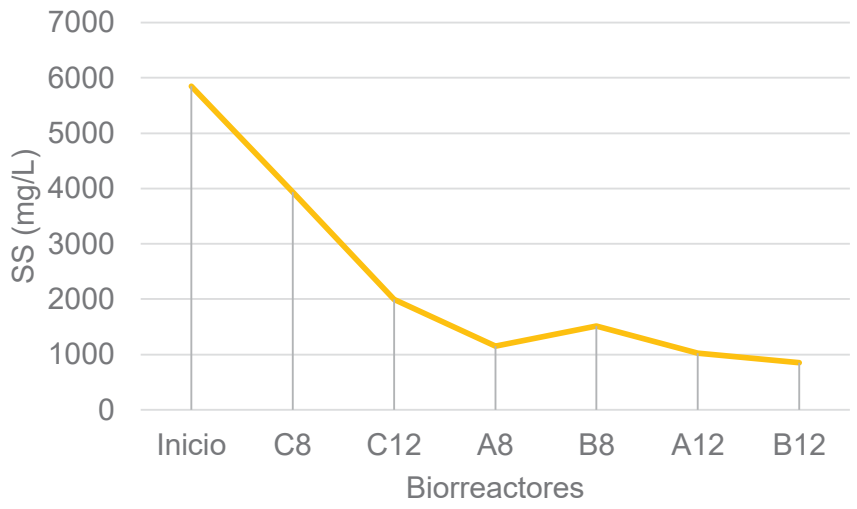


Figura 33. Eficiencia de reducción según los sólidos suspendidos.

5.4.1. Análisis de los sólidos suspendidos en 8 horas de aireación

En los resultados C8 vs A8 y C8 vs B8 (Figuras 32 y 33), se comparó entre C8 (800 mL de la muestra problema y 8 horas de aireación) - A8 (90 mL de lodos activados y 8 horas de aireación) y C8 – B8 (130 mL de lodos activados y 8 horas

de aireación), se observó una disminución de los sólidos suspendidos, puesto que, se genera materia suspendida en los tratamientos, debido a que existe agitación por la aireación generando una mezcla de flóculos (conjunto de microorganismos) a partir de los lodos activados en equilibrio (Torres, Vásquez, Pérez, Madera y Rodriguez, 2011). Adicionalmente, según datos estadísticos, el tratamiento A8 y B8 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de los sólidos suspendidos, respecto a la SS de A8 y B8 (Tabla 11).

Tabla 11.

Distribución t – Student en A8 y B8.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=3935		
Para A8			
		t=	-98,327
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1146{,}67 - 3935}{3935/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=3935		
Para B8			
		t=	-6,697
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1518{,}33 - 3935}{3935/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.4.2. Análisis de los sólidos suspendidos en 12 horas de aireación

En los resultados C12 vs A12 y C12 vs B12 (Figuras 32 y 33), se comparó entre C12 (800 mL de la muestra problema y 12 horas de aireación) – A12 (90 mL de lodos activados y 12 horas de aireación) y C12 – B12 (130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación), se observó una disminución de los sólidos suspendidos, puesto que, se genera materia suspendida en los tratamientos, debido a que existe agitación por la aireación generando una mezcla de flóculos (conjunto de microorganismos) a partir de los lodos activados en equilibrio (Torres et al., 2011).

De acuerdo a datos estadísticos el tratamiento A12 y B12 son análisis adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de los sólidos suspendidos, respecto a la SS de A12 y B12 (Tabla 12).

Tabla 12.

Distribución t – Student en A12 y B12.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=1995		
Para A12			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1026{,}67 - 1995}{1026{,}67/\sqrt{2}}$		t=	-34,147
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=1995		
Para B12			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{851{,}67 - 1995}{1995/\sqrt{2}}$		t=	-11,142
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.4.3. Reducción de sólidos suspendidos

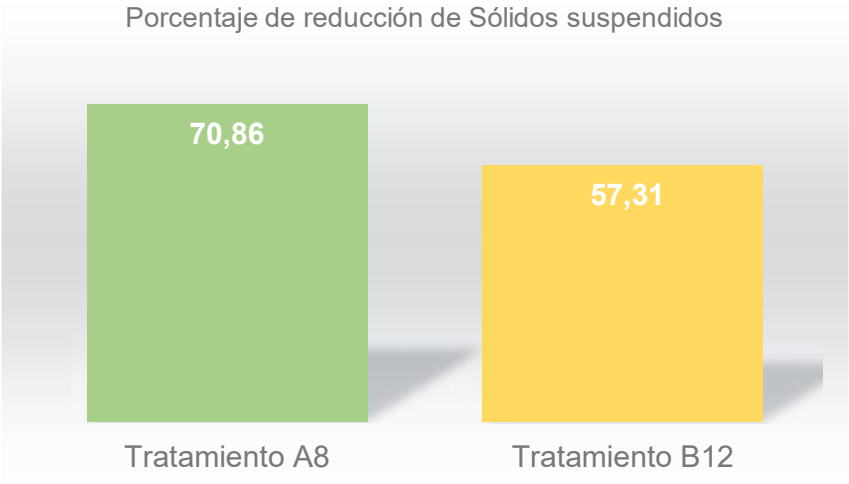


Figura 34. Porcentaje de reducción de sólidos suspendidos.

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, se escogió los tratamientos A8 y B12, puesto que, se obtuvo una mejor reducción de SS (Anexo 12), cabe mencionar que el porcentaje de reducción de SS en el tratamiento B12 (57,31%) fue menor respecto al tratamiento A8 (70,86%) (Figura 34), debido a los sólidos suspendidos en el medio.

5.5. Análisis de los sólidos disueltos

En esta sección se describe el cambio de los sólidos disueltos (SD) de acuerdo a los distintos tratamientos mencionados anteriormente en las Tablas 4 y 5.

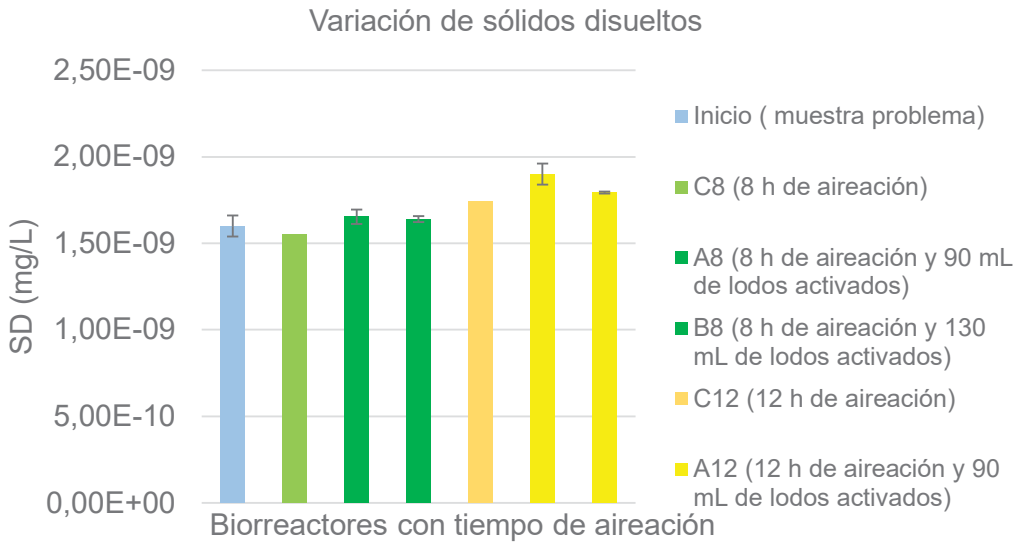


Figura 35. Variación de los sólidos disueltos.

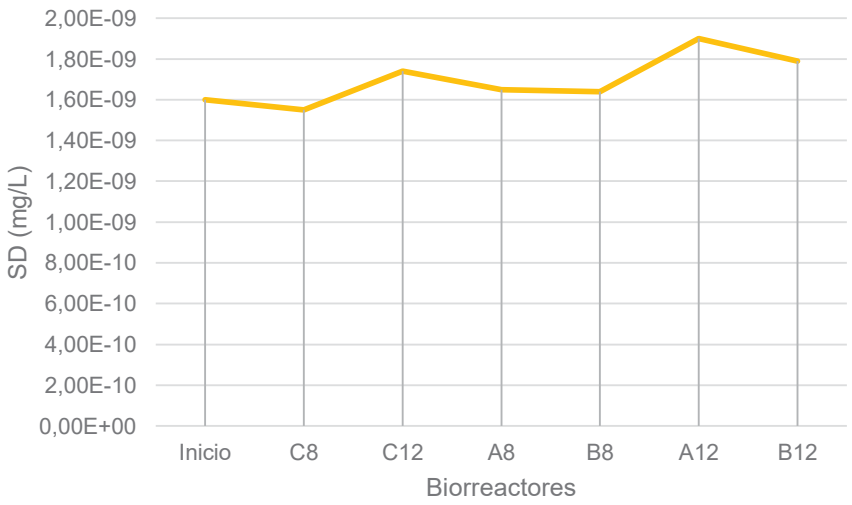


Figura 36. Eficiencia de reducción según los sólidos disueltos.

5.5.1. Análisis de los sólidos disueltos en 8 horas de aireación

En los resultados C8 vs A8 y C8 vs B8 (Figuras 35 y 36), se comparó entre C8 (800 mL de la muestra problema y 8 horas de aireación) - A8 (90 mL de lodos activados y 8 horas de aireación) y C8 – B8 (130 mL de lodos activados y 8 horas

de aireación), se observó que no se generó una disminución de los sólidos disueltos, puesto que no existe gran porcentaje de materia disuelta (Anexo 13) (Romero, 2002, p. 432).

Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A8 es adecuado, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la Sólidos disueltos en C8 respecto a los sólidos disueltos en A8, a diferencia del análisis estadístico de B8 donde se rechaza la hipótesis (Tabla 12).

Tabla 12.

Distribución t – Student en A8 y B8.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=1,55E-09		
Para A8			
		t=	3,510
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1{,}65E-09 - 1{,}55E-09}{1{,}55E-09/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=1,55E-09		
Para B8			
		t=	7,348
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1{,}64E-09 - 1{,}55E-09}{1{,}55E-09/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto se rechaza Ho		

5.5.2. Análisis de los sólidos disueltos en 12 horas de aireación

En los resultados C12 vs A12 y C12 vs B12 (Figuras 35 y 36), se comparó entre C12 (800 mL de la muestra problema y 12 horas de aireación) – A12 (90 mL de lodos activados y 12 horas de aireación) y C12 – B12 (130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación), se observó que no se generó una disminución de los sólidos disueltos, puesto que no existe gran porcentaje de materia disuelta (Anexo 13) (Romero, 2002, p. 432).

Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A12 es adecuado, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de la Sólidos disueltos en C12 respecto a los sólidos disueltos en A12, a diferencia del análisis estadístico de B12 donde se rechaza la hipótesis (Tabla 13).

Tabla 13.

Distribución t – Student en A12 y B12.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=1,74E-09		
Para A12			
		t=	3,720
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1{,}90E - 09 - 1{,}74E - 09}{1{,}74E - 09/\sqrt{2}}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=1,74E-09		
Para B12			
		t=	13,064
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{1{,}79E - 09 - 1{,}74E - 09}{1{,}74E - 09/\sqrt{2}}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto se rechaza Ho		

5.6. Análisis de fosfatos

En esta sección se describe el cambio de fosfatos de acuerdo a los distintos tratamientos mencionados anteriormente en las Tablas 4 y 5.

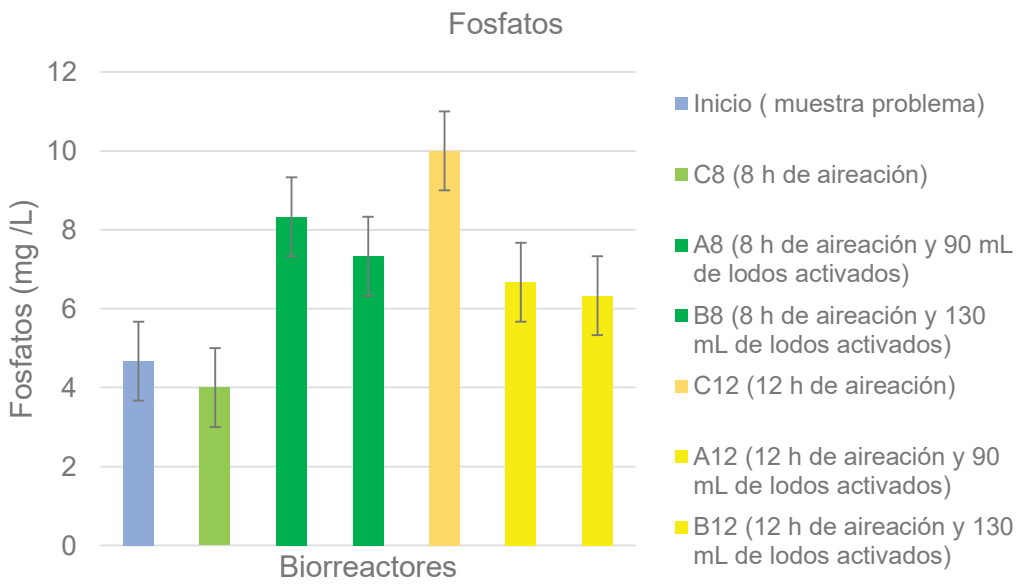


Figura 37. Variación de fosfatos.

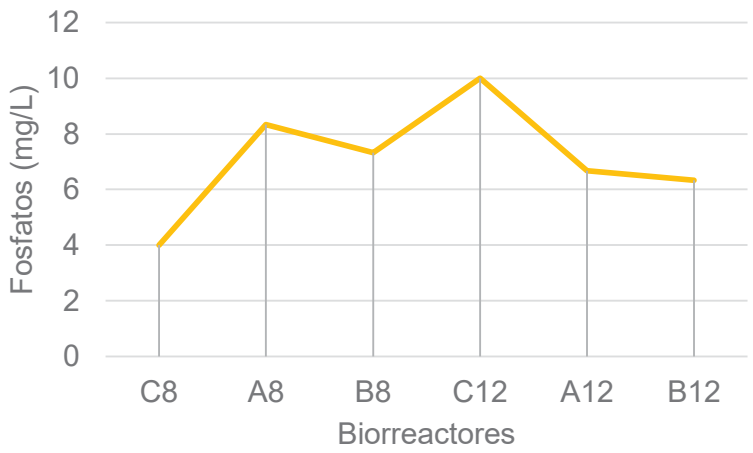


Figura 38. Eficiencia de reducción según fosfatos.

5.6.1. Análisis de fosfatos en 8 horas de aireación

En los resultados C8 vs A8 y C8 vs B8 (Figuras 37 y 38), se comparó entre C8 (800 mL de la muestra problema y 8 horas de aireación) - A8 (90 mL de lodos

activados y 8 horas de aireación) y C8 – B8 (130 mL de lodos activados y 8 horas de aireación), donde no se observó una disminución de fosfatos, puesto que la muestra problema no contenía una cantidad elevada de fosfatos (Anexo 14); sin embargo, se observó un mínimo incremento de fosfatos, puesto que, en la medición de fosfatos la muestra C8 no se midió correctamente, es por esto que en el resultado de C8 se muestra una cantidad baja de fosfatos, y al momento de comparar con los resultados A8 y B8 no se observó una reducción de fosfatos; es por esto que en este caso no se logró comparar la eliminación biológica del fósforo, cuando se efectúa la degradación de materiales orgánicos biodegradables mediante la actividad de los microorganismos (Romero, 2002, p. 444).

Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A8 y B8 no son adecuados, puesto que se rechaza la hipótesis de disminución de fosfatos en C8 (Tabla 14).

Tabla 14.

Distribución t – Student en A8 y B8.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=4		
Para A8			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{8{,}33 - 4}{4/\sqrt{2}}$		t=	2,123
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
	Por lo tanto se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=4		
Para B8			
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{7{,}33 - 4}{4/\sqrt{2}}$		t=	2,041
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
	Por lo tanto se rechaza Ho		

5.6.2. Análisis de fosfatos en 12 horas de aireación

En los resultados C12 vs A12 y C12 vs B12 (Figuras 37 y 38), se comparó entre C12 (800 mL de la muestra problema y 12 horas de aireación) – A12 (90 mL de lodos activados y 12 horas de aireación) y C12 – B12 (130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación), donde se observó una disminución de fosfatos, puesto que los resultados de A12 y B12 se reducen en comparación con el control C12, de tal manera que, se da una degradación de la materia orgánica mediante la actividad biológica de los microorganismos, además uno de los nutrientes para el desarrollo de los microorganismos son los fosfatos; asimismo el uso de tanques de aireación favorece el proceso de degradación biológica (Romero, 2002, p. 444).

Adicionalmente, según análisis estadísticos el tratamiento A12 y B12 son adecuados, puesto que se acepta la hipótesis de disminución de fosfatos en C12 (Tabla 14).

Tabla 14.

Distribución t – Student en A12 y B12.

Prueba de hipótesis unilateral		Para un error	α=0,05
Ho : u ≤uo	uo=10		
Para A12			
		t=	-4,082
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{6,67 - 10}{10/\sqrt{2}}$			
		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		
Ho : u ≤uo	uo=10		
Para B12			
		t=	-3,395
$t = \frac{X - Uo}{S/\sqrt{n}}$ $t = \frac{6,63 - 10}{10/\sqrt{2}}$		$t_{\propto/2}$=	4,303
$\lvert t \rvert < t_{\propto/2}$	Por lo tanto no se rechaza Ho		

5.7. Evaluación de los tratamientos

Los tratamientos aplicados en la parte experimental (Tabla 15) demuestran que el tratamiento B12 es aquel que obtiene una mayor eficiencia respecto a la reducción de los valores resultantes de la muestra inicial (valores de color rosado). En el presente proyecto los parámetros evaluados son la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), los sólidos suspendidos (SS), los fosfatos, la temperatura y el potencial hidrógeno (pH). La aplicación del tratamiento B12 contiene 130 mL de lodos activados y 12 horas de aireación, de tal manera que, se da el fenómeno de adsorción de materia orgánica, debido a que el material sintetizado es proporcional a la oxidación biológica; además, con la aireación se observó de manera efectiva: un suministro de oxígeno para las células, una suspensión de células y un contacto de los lodos activados con el residuo; incluso con la aplicación de una prolongada aireación se favorece la degradación biológica (Romero, 2002, pp. 423-441). Además, el tratamiento B12 es aquel que obtuvo los porcentajes de reducción más efectivos ante los resultados del presente proyecto, sin embargo, de acuerdo a la Tabla 15 se apreció los resultados finales del tratamiento B12, donde los resultados de DQO, DBO_5 y SS (valores de color amarillo) no llegaron a los valores permisibles de descarga de aguas residuales (límites resaltados de color verde) según el Texto Unificado de Legislación Secundario del Medio Ambiente (TULSMA); no obstante, se observó que parte de los resultados del tratamiento B12 llegaron a cumplir los límites permisibles de descarga de aguas residuales respecto a los valores de temperatura, potencial hidrógeno y fosfatos (valores de color celeste).

Tabla 15.

Comparación de datos experimentales con los valores permisibles según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) y el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

	Unidad	Muestra inicial	Control (C8)	Tratamiento (A8)	Tratamiento (B8)	Control (C12)	Tratamiento (A12)	Tratamiento (B12)	Valores permisibles (TULSMA)	Sistema de alcantarillado (DMQ)	Cauce de agua (DMQ)
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	40510	42480	27026,67	31800	31360	13320	11600	250	350	160
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/L	20230	26330	13480,33	15907,67	15688	6659,33	5808,33	100	170	100
Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	5849,67	3935	1146,67	1518,33	1995	1026,67	851,67	100	100	80
Fosfatos	mg/L	4,67	4	8,33	7,33	10	6,67	6,33	10	15	10
Temperatura	°C	19,4	22,4	22,4	22,5	21,2	21,4	21,2	< 35	< 40	Condición natural +/- 3
Potencial hidrógeno (pH)		7,27	7,21	6,33	6,33	7,23	6,15	6,22	5 a 9	6 a 9	6 a 9

5.8. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Friulatte

En este apartado, se diseña a escala una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de Friulatte, para su posterior construcción, cabe mencionar que el diseño se basa de acuerdo a los análisis de laboratorio descritos anteriormente, donde se escogió el tratamiento B12, por su eficacia en el tratamiento biológico aerobio (Figura 39, 40, 41, 42, 43 y 44).

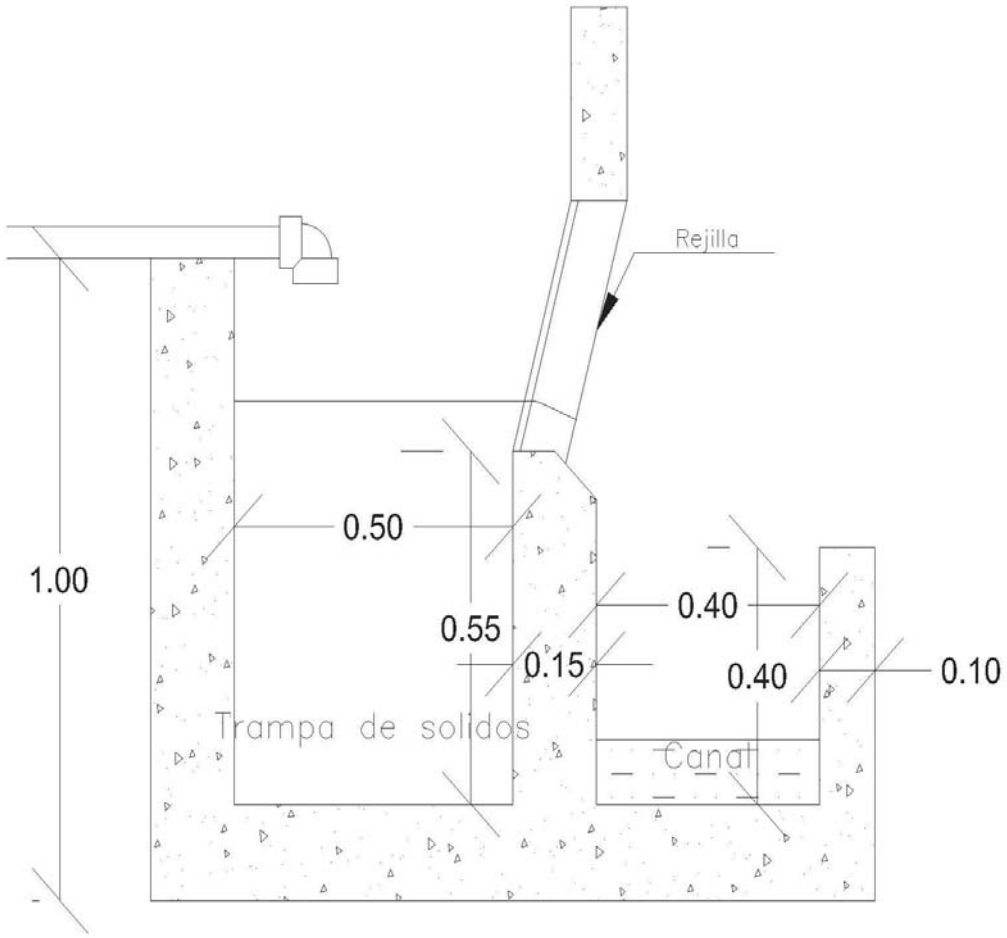


Figura 39. Trampa de sólidos.

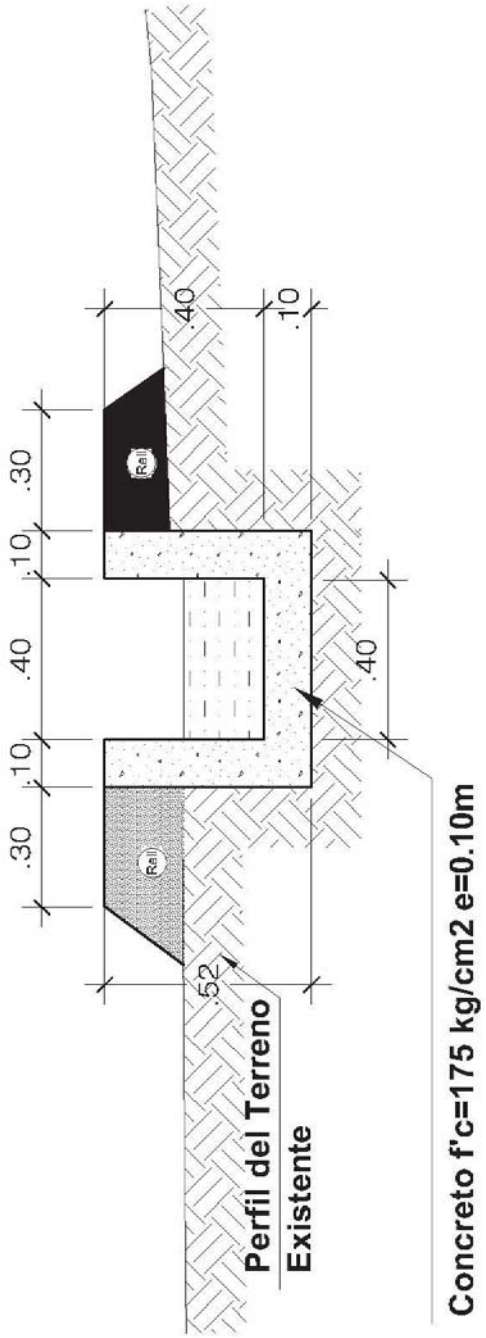


Figura 40. Canal.

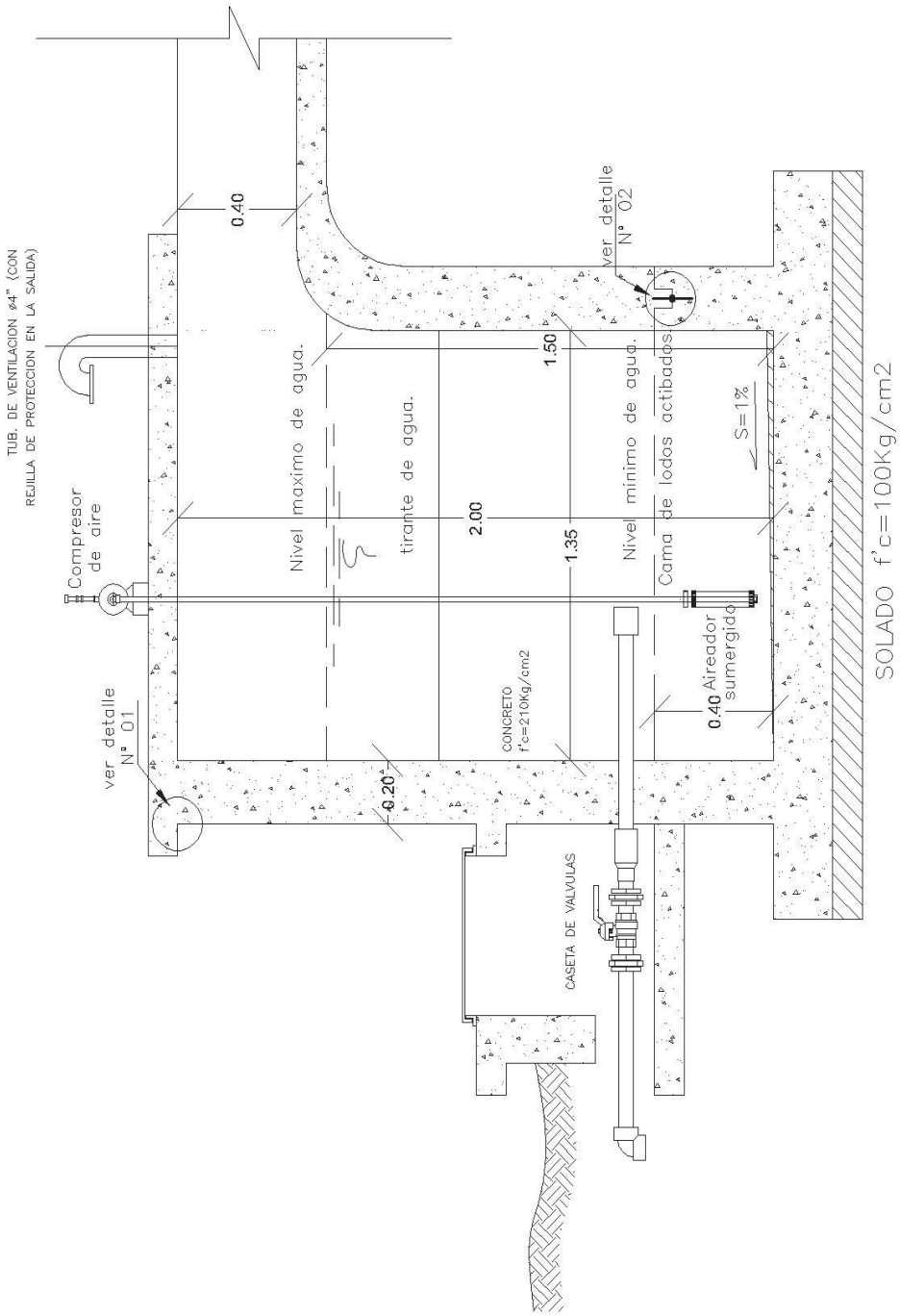


Figura 41. Corte transversal del biorreactor.

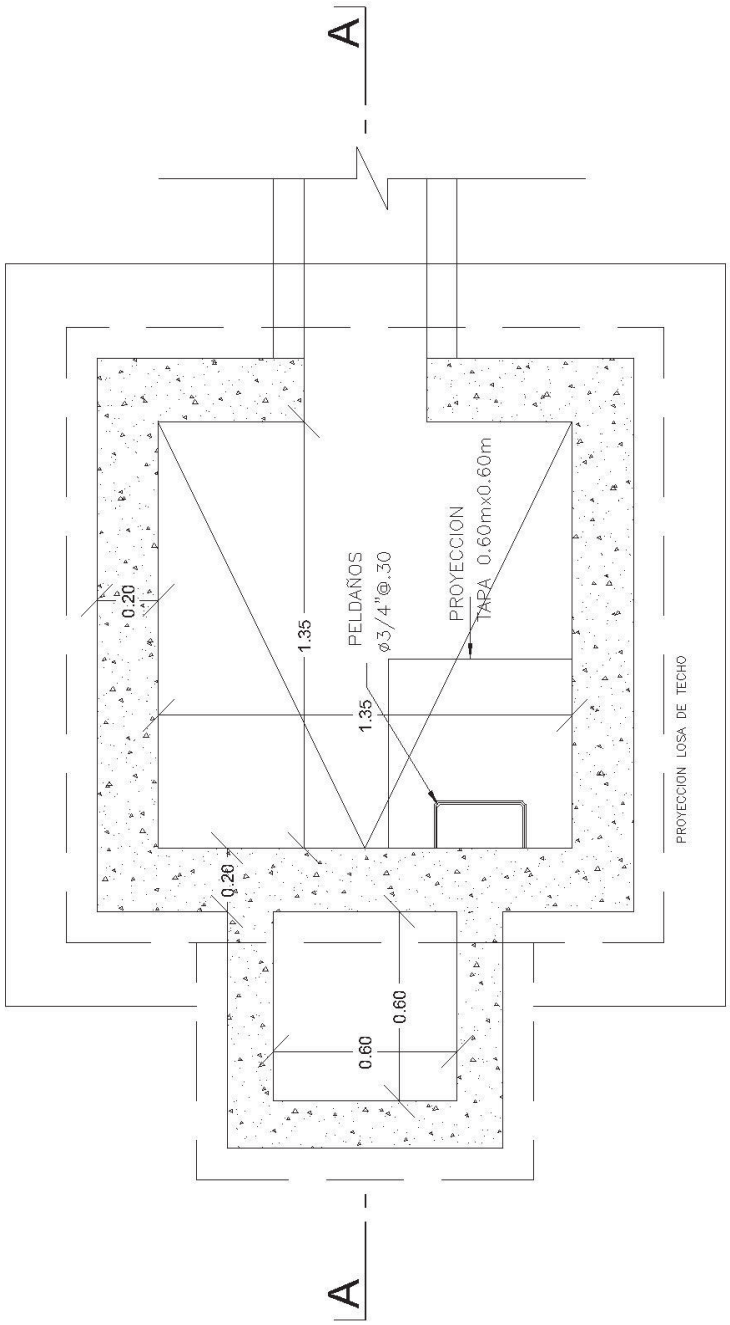


Figura 42. Vista superior del biorreactor.

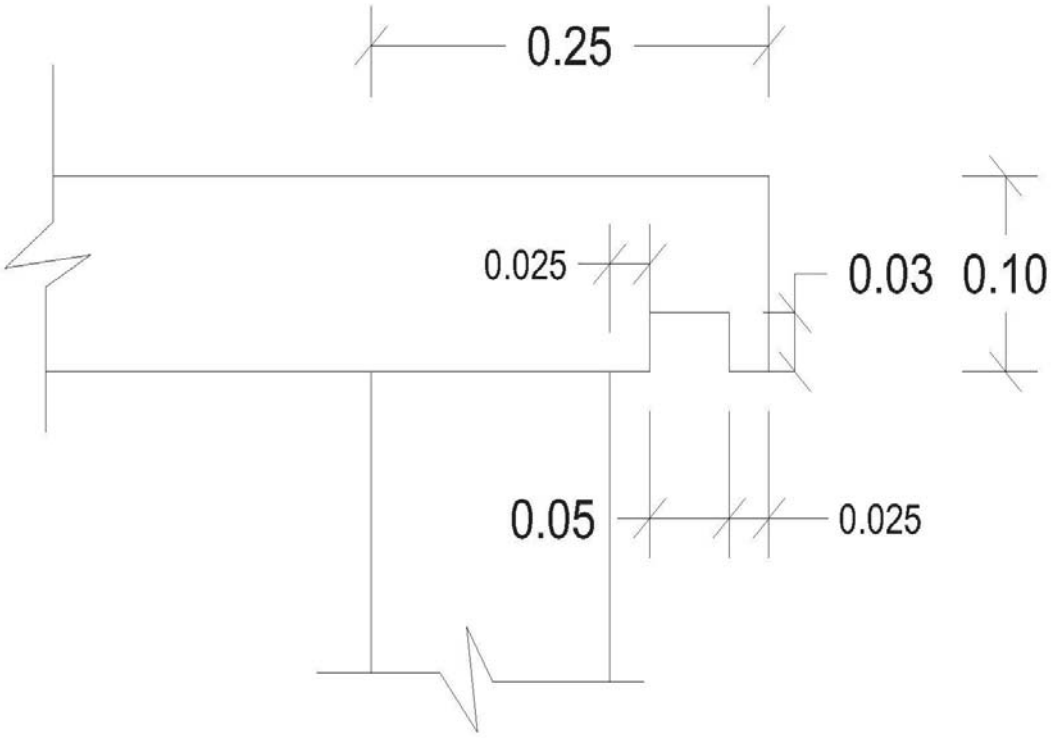


Figura 43. Detalle 1: rompe agua.

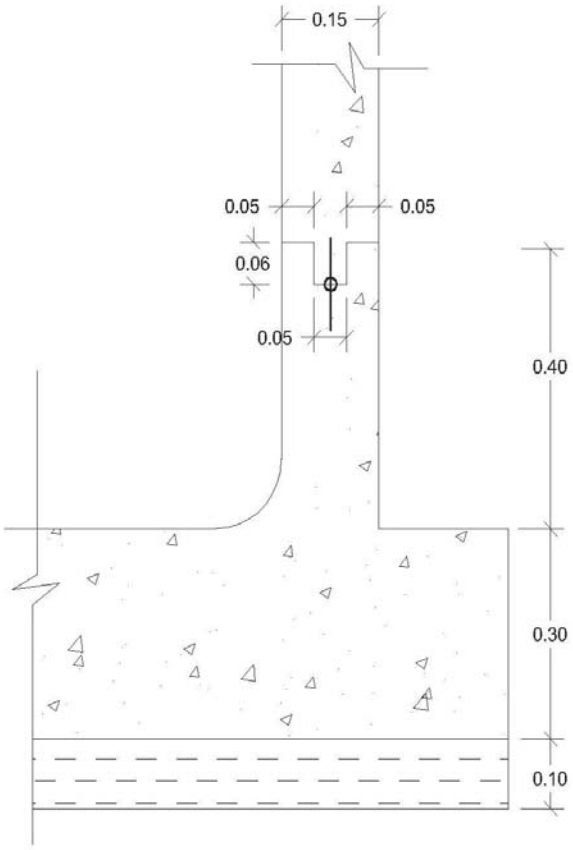


Figura 44. Detalle 2: water stop en muro.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

Se caracterizó las aguas residuales provenientes de Friulatte, según su composición, donde se verificó que existe contaminación en sus efluentes, puesto que, la DQO que se midió (40510 mg/L) se encontraba sobre los límites permisibles de descarga (250 mg/L y 350 mg/L), según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente y según Distrito Metropolitano de Quito.

Para el presente estudio se logró construir un aireador, para regular la salida de aire en cada biorreactor, de tal manera que se genere un equilibrio de aireación.

Se observó acoplamiento y adaptabilidad de los lodos activados provenientes de Fabrilacteos, puesto que la temperatura (18°C – 25 °C) y el pH (6,5 - 8) se encuentran estables, cabe recalcar que los lodos activados se aclimataron satisfactoriamente, puesto que se trasladaron de a aguas residuales lácteas a aguas residuales con características similares.

Se evaluó la eficacia del tratamiento biológico aerobio, en las aguas residuales de Friulatte, obteniendo que el tratamiento más efectivo fue el tratamiento B12, donde los microorganismos realizan la degradación de materia orgánica a la cuarta parte de lo inicial. Además, el porcentaje de reducción de DQO es de 63,01%, de tal manera que, con este tratamiento (12 horas de aireación y 130 mL de lodos activados) se llega a oxidar la materia orgánica por medio del oxígeno generando dióxido de carbono mediante mecanismos de degradación biológica aerobia.

El porcentaje de reducción de DBO_5 es de 62,98, debido a que, la materia orgánica (sustrato) se consume continuamente para sustentar el metabolismo energético y celular; así mismo, los porcentajes de grasa, proteína y lactosa disminuyeron notablemente según las Tablas (13, 14 y 15).

Según los términos de porcentaje de disminución de DQO y DBO_5 del presente proyecto se concluye que el tratamiento B12 es el más efectivo, es por esto que, se diseñó a escala la planta de tratamiento piloto para su posterior construcción.

Los resultados del tratamiento biológico aeróbico B12 no llegaron a los valores permisibles de descarga de efluentes, es por esto que se recomienda realizar una aireación prolongada, para obtener un porcentaje mayor de disminución respecto a los límites permisibles.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar un proceso de clarificación posterior al tratamiento biológico aerobio, de esta manera se obtendrá resultados que se encuentren dentro de los valores permisibles según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente junto con los valores permisibles según el Distrito Metropolitano de Quito.

Se recomienda realizar un estudio de patogenicidad en los efluentes provenientes de Friulatte para comprobar la presencia de patógenos en dicho efluente.

Se recomienda realizar un estudio de calidad del efluente previamente tratado para posteriormente utilizarlo en riego agrícola.

Se recomienda un mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales periódicamente para mantener su funcionalidad y limpieza.

Se recomienda que, para medir los parámetros de efluentes de descarga, se midan con equipos adecuados y personal capacitado.

Se recomienda la implementación de esta planta de tratamiento en zonas con pendientes pronunciadas, ya que se aprovecha la gravedad para circulación de los efluentes por todo el sistema.

Referencias

Alvarez, O. (2016). La hidrosfera y el ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración y el problema de la escasez de agua. *PublicacionesDidácticas*, *1*(72), 112-379.

Arango, A. y Garcés, L. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Producción+Limpia, 2*(2), 24-30.

Arango, O. y Sanches, L. (2009). Treatment of dairy industry wastewater using uasb anaerobic system. *SciELO, 7* (2), 25-31.

Distrito Metropolitano de Quito. (2012). Norma técnica para control de descargas líquidas (NT002), acuerdo ministerial N 097-A. Anexo 1 (Tabla N$_o$ 8 y N$_o$ 9).

Calixto, R., Herrera, L. y Hernández V. (2008). *Ecología y medio ambiente* (2.ª ed.). México: Progreso, S. A. de C. V.

CAR/PL Centro de actividad regional para la producción limpia. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea* (1.ª ed.). España: UNEP.

Cepal. (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador* (1.ª ed.). Ecuador: ESPAMMFL.

FAO y CIL. (2015). *Derivados de productos lácteos según el centro de la Industria Láctea y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (1.ª ed.). Ecuador: IGM.

Gaudy, A. Gaudy, E. (1988). *Elements of Bioenvironmental Engineering. Engineering Press* (1.ª ed.). Oxford: McGraw Hill.

Gómez, D. y Gómez, M. (2013). *Evaluación de Impacto Ambiental* (3.ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.

Gonzáles, M. (2012). Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea. *Mundo Pecuario*, 2(1), 16-32.

Liu, X., Chung, Y., Yang, S. y Yousef, A. (2005). Continuous nisin production in laboratory media and whey permeate by immobilized *Lactococcus lactis*. *ELSEVIER. 1*(40), 13-24. Doi: 10.1016/j.procbio.2003.11.032

Martinez, E. (1992). Recursos Naturales, Biodiversidad, conservación y uso sustentable. *MULTEQUINA 1*(1), 11-18.

Massieu, B. (2008). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* México D.F.: INEGI.

Mihelcic, J. y Zimmerman, J. (2015). *Ingeniería ambiental Fundamentos – Sustentabilidad – Diseño* (1.ª ed.). Colombia: Alfaomega.

Ministerio del ambiente (2013). *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador* (1.ª ed.). Ecuador: IGM.

Noyola, A., Morgan, J., y Güerra L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales* (1.ª ed.). México: UNAM.

Osman, a. (2006). *OPEN CHANNEL HYDRAULICS* (1.ª ed.). Alemania: Butterwoth-Heinemann.

Panesar, P., Kennedy, J., Gandhi, D. y Bunko, K. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *ELSEVIER, 105*(1), 1-14.

Parra, R. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *SciELO*. *62*(1), 1-16 doi:4967-4982.

Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales* (1.ª ed.). Sevilla: Editorial Reverté.

Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. y Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales* (1.ª ed.). Madrid: CEIM

Romero, J. (2002). *Calidad del agua* (1.ª ed.). Bogotá – Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño* (3.ª ed.). Bogotá – Colombia: Escuela Colombiana

Saavedra, G. (2017). Saneamiento del Río Guaire. SciELO, *1*(1), 1-7.

Torres, P., Vásquez, N., Pérez, A., Madera, C. y Rodriguez, J. (2011). Alternativas de tratamiento biológico aerobico para el agua residual doméstica del municipio de Cali, Colombia. *AFINIDAD LXVIII. 1*(100), 381-388.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), (2.ª ed.). Sn. Libro VI Anexo 1. pp. 29 –30. Ordenanza N.404 13 de febrero del 2015.

Udayarajan, C. 2007. *Relating physicochemical characteristics of cheese to its functional performance*. (Tesis doctoral). Universidad de Wisconsin- Madison, E.E.U.U.

Vizcarra, A., Tapia, D., Lasso, R., Flores, M. y Bolaños, R. (2015). *La leche del Ecuador* (1.ª ed.). Ecuador: Effecto Studio.

White, F. (2004). *Mecánica de fluidos* (5.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo 1.

Ordenanza N$_o$ 404 para límites permisibles de descarga en cuerpos de agua dulce.

Parámetro	Unidad	Límite permisible
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/L	100
Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	100
Sólidos totales	mg/L	1600
Fosfatos	mg/L	10
Sulfatos	mg/L	1000
Aceites y grasas	mg/L	0.3
Nitratos más nitritos	mg/L	10
Nitrógeno total	mg/L	15
Temperatura	°C	<35
Potencial hidrógeno		5 - 9

Adaptado de (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), 2015, ord. 404).

Anexo 2.

Normativa técnica para control de descargas líquidas (NT002).

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	
		Sistema de alcantarillado	**Cauce de agua**
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	350	160
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/L	170	100
Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	100	80
Fósforo total	mg/L	15	10
Tenso activos	mg/L	1	0,5
Sulfuros	mg/L	1,0	0,5
Aceites y grasas (A-G)	mg/L	70	30
Cloruros	mg/L		1000
Temperatura	°C	< 40	Condición natural +/- 3
Potencial hidrógeno		6 - 9	6 - 9

Adaptado del Distrito Metropolitano de Quito, 2012, acuerdo ministerial N 097-A).

Anexo 3

Contenido del lacto suero

Componente	Lacto suero ácido g/L	Lacto suero dulce g/L
Lactosa	44,0 – 46,0	46,0 – 52,0
Sólidos totales	63,0 -70,0	63,0 -70,0
Grasa	0,5 – 7,0	0,4 – 6,0
Proteína	6,0 – 8,0	6,0 – 10,0
Fosfatos	2,0 - 4,5	1,0 – 3,0
Calcio	1,2 – 1,6	0,4 – 0,6
Cloruros	1,1	1,1
Lactatos	6,4	2,0
pH	4,3 – 4,7	5,6 – 6,1

Adaptado de (Panesar et al., 2007).

Anexo 4

Volúmenes de efluentes

Volumen de efluentes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio
Suero de leche	700	690	700	670	770	706
Agua	580	520	560	550	600	562
Agua de hilado de queso	220	217	230	215	250	226,4
Volúmenes de efluentes diarios en litros	1500	1427	1490	1435	1620	1494,4

Anexo 5

Cálculo de caudales

calculo de caudales	tiempo (s)	volumen (L)	caudal (L/s)	QM (litros/s)
	2,16	2,7	1,25	
	2,05	2,55	1,24	
	2,06	2,45	1,19	
tanque 1	2,09	2,6	1,24	1,23
	2,15	4,35	2,02	
	2,12	4,4	2,08	
	2,16	4,3	1,99	
tanque 2	2,19	4,4	2,01	2,02

Anexo 6

Características de la muestra inicial.

	M1	M2	M3
Grasa	0,38	0,25	0,39
Sólidos no grasos	2,76	2,41	2,77
Densidad	10,2	8,99	10,3
Proteína	1,1	0,97	1,2
Temperatura	19,4	19,4	19,4
Lactosa	1,49	1,3	1,6
pH	7,21	7,27	7,33

Anexo 7

Características de los biorreactores con un tiempo de aireación de 8 horas.

	C8	T1 a	T1 b	T1c	T2 a	T2 b	T2 c
Grasa	0,1	0	0	0	0	0	0
Sólidos no grasos	2,04	1,78	1,74	1,71	1,68	1,66	1,67
Densidad	5,92	5,01	4,86	4,74	4,63	4,55	4,59
Proteína	0,84	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,71
Temperatura	22,4	22,4	22,4	22,4	22,5	22,5	22,5
Lactosa	1,08	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,87
pH	7,21	6,45	6,25	6,59	6,34	6,35	6,30

Anexo 8

Características de los biorreactores con un tiempo de aireación de 12 horas.

	C12	T3 a	T3 b	T3c	T4 a	T4 b	T4 c
Grasa	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos no grasos	2,52	2,45	2,29	2,37	2,16	2,14	2,16
Densidad	9,56	9,29	8,67	8,98	8,17	8,09	8,17
Proteína	1,01	0,99	0,93	0,96	0,88	0,88	0,88
Temperatura	21,2	21,4	21,4	21,4	21,2	21,2	21,2
Lactosa	1,36	1,31	1,23	1,27	1,16	1,14	1,16
pH	7,23	6,12	6,22	6,10	6,25	6,15	6,17

Anexo 9

Variación de la demanda química de oxígeno (DQO).

	Reactor	DQO (mg/L)	Promedio DQO (mg/L)	Desviación Estándar
M1		43120		
	Inicio		40510	3856,7733
M2		36080		
M3		42330		
C8	C8	42480	42480	
T1a		27400		
T1b	A8	27080	27026,67	402,65784
T1c		26600		
T2a		37000		
T2b	B8	32000	31800	5302,8294
T2c		26400		
C12	C12	31360	31360	
T3a		12640		
T3b	A12	13560	13320	597,32738
T3c		13760		
T4a		11960		
T4b	B12	10920	11600	589,23679
T4c		11920		

Anexo 10

Variación de la demanda química de oxígeno (DBO_5).

|	Reactor	DBO_5 (mg/L)	Promedio DBO_5 (mg/L)	Desviación Estándar
M1		21500		
M2	Inicio	18030	20230	1912,8251
M3		21160		
C8	C8	26330	26330	
T1a		13700		
T1b	A8	13440	13480,33	202,53477
T1c		13301		
T2a		18502		
T2b	B8	16011	15907,67	2647,5129
T2c		13210		
C12	C12	15688	15688	
T3a		6321		
T3b	A12	6780	6659,33	296,99214
T3c		6877		
T4a		5988		
T4b	B12	5460	5808,33	301,71565
T4c		5977		

Anexo 11

Variación del oxígeno disuelto (OD).

	Reactor	OD (mg/L)	Promedio OD (mg/L)	Desviación Estándar
M1		0,89		
M2		0,94		
M3	Inicio	1,1	0,98	0,1096966
C8	C8	5,07	5,07	
T1a		2		
T1b	A8	2,01		
T1c		2,23	2,08	0,13
T2a		1,54		
T2b	B8	1,65		
T2c		1,83	1,67	0,1464013
C12	C12	4,89	4,89	
T3a		1,53		
T3b	A12	1,84		
T3c		1,85	1,74	0,1819341
T4a		1,42		
T4b	B12	1,39		
T4c		1,38	1,40	0,0208167

Anexo 12

Variación de los sólidos suspendidos.

	Reactor	SS (mg/L)	Promedio SS (mg/L)	Desviación Estándar
M1		6233		
M2	Inicio	5195	5849,67	569,72
M3		6121		
C8	C8	3935	3935	
T1a		1150		
T1b	A8	1185	1146,67	40,10
T1c		1105		
T2a		1335		
T2b	B8	1125	1518,33	510,33
T2c		2095		
C12	C12	1995	1995	
T3a		985		
T3b	A12	1030	1026,67	40,10
T3c		1065		
T4a		710		
T4b	B12	845	851,67	145,11
T4c		1000		

Anexo 13

Variación de los sólidos disueltos.

	Reactor	SD (mg/L)	Promedio SD (mg/L)	Desviación Estándar
M1		1,63E-09		
M2	Inicio	1,53E-09	1,60E-09	6,083E-11
M3		1,64E-09		
C8	C8	1,55E-09	1,55E-09	
T1a		1,70E-09		
T1b	A8	1,62E-09	1,65E-09	4,163E-11
T1c		1,64E-09		
T2a		1,62E-09		
T2b	B8	1,65E-09	1,64E-09	1,732E-11
T2c		1,65E-09		
C12	C12	1,74E-09	1,74E-09	
T3a		1,97E-09		
T3b	A12	1,86E-09	1,90E-09	6,083E-11
T3c		1,87E-09		
T4a		1,80E-09		
T4b	B12	1,79E-09	1,79E-09	5,774E-12
T4c		1,79E-09		

Anexo 14

Variación de fosfatos.

	Reactor	Fosfatos (mg/L)	Promedio fosfatos (mg/L)	Desviación Estándar
M1		4		
M2		6	4,67	
M3	Inicio	4		1,15
C8	C8	4	4,00	
T1a		10		
T1b	A8	5	8,33	
T1c		10		2,89
T2a		10		
T2b	B8	6	7,33	
T2c		6		2,31
C12	C12	10	10,00	
T3a		6		
T3b	A12	8	6,67	
T3c		6		1,15
T4a		8		
T4b	B12	6	6,33	
T4c		5		1,53

Anexo 15

Materiales, equipos y reactivos empleados.

Materiales	Equipos:	Reactivos
1 Bidón de agua de 20 L	Taladro	Hidróxido de calcio apagada (Cal)
1 Cooler BigTree ES 90 x90	Microscopio de campo claro	Agua destilada
14 Botellas ámbar	Compresor de aire JAD AQUARIUM	Alcohol
Marcador permanente	pH 211 Microprocessor pH Meter, HANNA	Solución digestiva de Demanda Química de Oxígeno
Etiquetas de muestreo	Autoclave, HICLAVE HV-5,0	Kit Total Phosphate
Láminas de acrílico	Ekomilk total analizar type milkana Kam98-2A, Stara Zagora	
Tabla triple gruesa	Colorímetro DR 890 número de parámetros múltiples, China	
Teflón	Reactor de digestión DRB200, China	
1 Manguera de ½ pulgada	Oxímetro, YSI 550 Aquatic Eco-systems, INC	
14 Mangueras pequeñas plásticas	Multiparámetro PCSTestr 35, EEUU	
4 Llaves reguladoras de aire	Computadora laptop SANSUNG, EEUU	
14 difusores de aire	Computadora Toshiba, Korea	
1 Tubo plástico pequeño		
3 Pipeta de vidrio de 10 mL		
3 Pipeta de vidrio de 2 mL		
3 Matraz aforado de 100 mL		
3 Piceta plástica de 250 mL		
6 Pera plástica de succión		
14 Vasos de precipitación de 200 mL		
3 Erlenmeyer de 50 mL		

Anexo 16. Construcción del aireador.

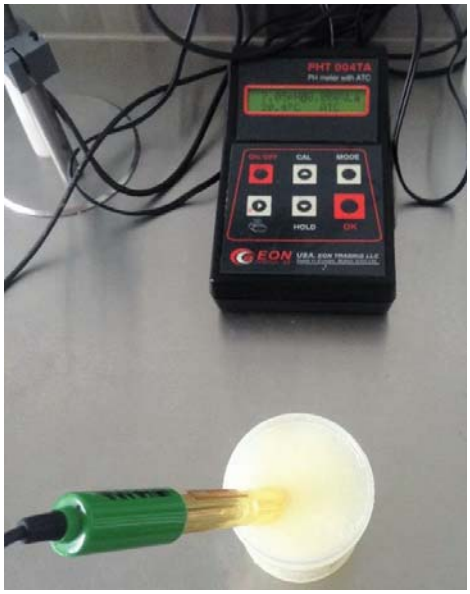
Anexo 17. Cálculo del caudal.

Anexo 18. Toma de muestra problema.

Anexo 19. Montaje del biorreactor.

Anexo 20. Regulación de aire en los biorreactores.

Anexo 21. Medición del pH inicial en la muestra problema.



Anexo 22. Medición del pH y temperatura por experimento.

Anexo 23. Medición de la caracterización.

Anexo 24. Medición de sólidos disueltos.

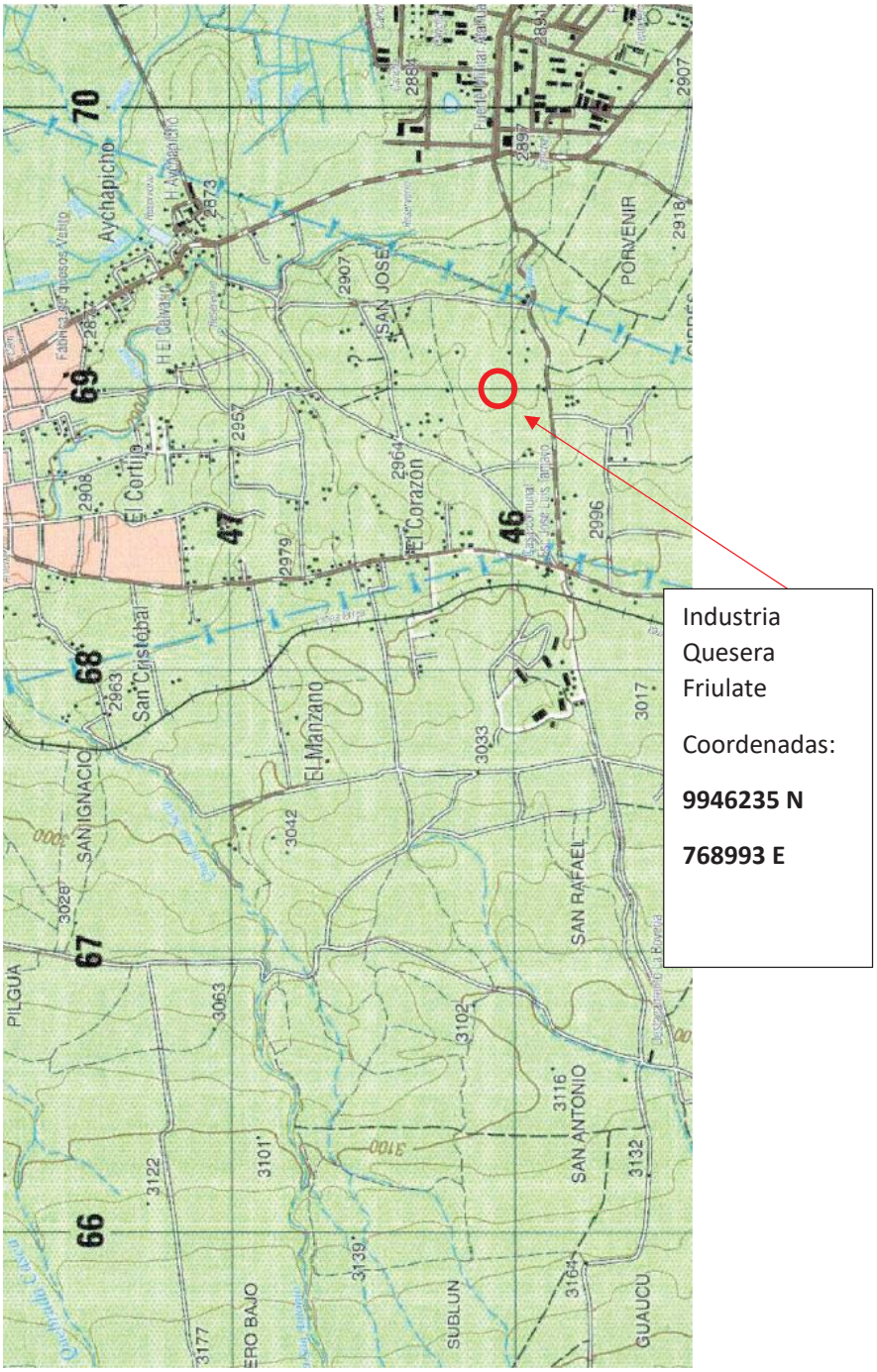
Anexo 25. Medición del oxígeno disuelto.

Anexo 26. Tratamiento de muestras para DQO y DBO_5.

Anexo 27. Medición de la DQO y DBO_5.

Anexo 28. Medición de Fosfatos.

Anexo 29. Medición de sólidos suspendidos.



Anexo 30. Ubicación de Friulatte mediante la carta topográfica de Aloag. Extraido del instituto Geografico Militar (IGM). De la serie J821, Hoja ÑIII-A4b,3892 I SE de el sector de ALOAG, ECUADOR ÑIII-C2d, 3892 II NE con una escala 1 : 25 000.