

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO  
MEDIANTE EL USO DE LAS BACTERIAS *Pseudomona putida*, *Pseudomona mendocina*  
y *Hafnia alvei*, COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA VERTIMIENTOS  
LÍQUIDOS DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA CIUDAD DE MANIZALES.**

**DIANA MARCELA FLÓREZ RÍOS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
ECAMPA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DOSQUEBRADAS – 2016**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO  
MEDIANTE EL USO DE LAS BACTERIAS *Pseudomona putida*, *Pseudomona mendocina*  
y *Hafnia alvei*, COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA VERTIMIENTOS  
LÍQUIDOS DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA CIUDAD DE MANIZALES**

**DIANA MARCELA FLÓREZ RÍOS**

**Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniera Ambiental**

**ASESOR: CARLOS MARIO DUQUE CHÁVES**

**Ingeniero Ambiental**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
ECAMPA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DOSQUEBRADAS – 2016**

## **Dedicatoria**

A Dios por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de mi vida.

A mi familia por creer en mí y darme todo su apoyo durante mi carrera, en los momentos de desesperación y felicidad, por ser mi principal motivación para alcanzar mis sueños.

## **Agradecimientos**

A Dios por haberme ayudado durante estos años, por haberme brindado su protección, fortaleza y bendición en los momentos en los cuales más lo necesité.

A mis padres Yaneth Ríos Duque y José Albeiro Flórez García por infundir en mi la lucha, la perseverancia y dedicación para alcanzar este sueño.

A mi hermano Jhon Alexander Flórez Ríos por su admiración y su deseo de superación.

A Dyro Alexander Bustamante Coordinador Académico del Centro para la Formación Cafetera– Líder de SENNOVA Investigación Aplicada del SENA Regional Caldas, quien me permitió utilizar el Laboratorio de Ciencias Básicas del SENA Regional Caldas.

A mi gran maestro Frank Alberto Cuesta González, quien con sus conocimientos y experiencia me guio y acompañó en el desarrollo de esta investigación, por su amistad y apoyo incondicional.

A la línea de Biotecnología Tecnoparque Nodo Manizales por apoyarme con el recurso humano, laboratorios y equipos.

A mi asesor Carlos Mario Duque Cháves quien me brindó el apoyo técnico para el desarrollo de este proyecto, quien siempre estuvo dispuesto a orientarme en los momentos de duda y ofrecerme sus conocimientos además de su confianza y ánimo de continuar.

Al equipo de SENNOVA del Centro para la Formación Cafetera en cabeza de la doctora Katherin Castro Ríos por su gran gestión para la adquisición de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

A la ingeniera Laura Patricia Bermeo Escobar, quien con su apoyo fue posible realizar los análisis de laboratorio, además del ánimo infundido y la confianza depositada.

A Paola Andrea Yepes quien autorizó el ingreso a la empresa que participó en esta investigación.

A la aprendiz Estefanía Franco Velásquez quien me prestó su apoyo en la preparación, el seguimiento de los reactores y los análisis de laboratorio.

A mis amigos quienes de una u otra forma hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

## Resumen

Los efluentes generados por las empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos se han convertido en un grave problema ambiental debido a sus características, ya que tienen un alto contenido de materia orgánica. Lo anterior se ve reflejado en la alteración del recurso hídrico, ocasionando problemas de eutrofización, pérdida de diversidad acuática, disminución de la capacidad de resiliencia del ecosistema etc. La biorremediación es un proceso que se ha venido desarrollando en los últimos años y se presenta como una alternativa para el tratamiento de los vertimientos de esta industria. El presente trabajo evaluó los niveles de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST de dicho efluente mediante el uso de *Pseudomona putida*, *Pseudomona mendocina* y *Hafnia alvei*. La metodología utilizada contempló una caracterización fisicoquímica inicial del lacto-suero, donde se encontraron altos niveles en los parámetros mencionados, lo que indicó que este efluente debía ser sometido a un sistema de tratamiento de aguas residuales. Teniendo en cuenta esto, se diseñó un sistema de tratamiento biológico aerobio, acompañado de una trampa de grasas y una serie de reactores, los cuales fueron inoculados con cada cepa y un consorcio bacteriano para evaluar su eficiencia. A pesar de que todos mostraron una respuesta positiva en el sistema, la cepa *Pseudomona putida* fue la que mejor desempeño mostró arrojando los siguientes resultados: 87,45% DBO<sub>5</sub>, 65,55% DQO y 57,37% S.S.T. Por último tenemos que aun cuando se obtuvieron unos porcentajes de remoción favorables, aún no se da cumplimiento a los valores máximos establecidos por la resolución 0631 del 2015, por lo que se requiere evaluar tratamientos terciarios mejorar el sistema de tratamiento.

**Palabras clave:** Bacterias degradadoras, eutrofización, lacto-suero, tratamiento

biológico y vertimientos líquidos.

### **Abstract**

The effluents generated by companies dedicated to produce dairy products, it has become in a serious environmental issue because of their characteristics, as they have a high content of organic matter. This is reflected in the alteration of water resources, causing problems like eutrophication, loss of aquatic diversity, reduced ecosystem resilience etc. Bioremediation is a process that has been developing in recent years and is presented as an alternative for the treatment discharges of this industry, been a little complex, economical and friendly with the environment. The present works evaluate the levels of removal BOD<sub>5</sub>, COD and TSS of said effluent using *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas mendocina* y *Hafnia alvei*.. The methodology used contemplated an initial physicochemical characterization of whey, where high levels were found in the above parameters, indicating that this effluent must be subjected to a system of wastewater treatment. Given this, a system of aerobic biological treatment, accompanied by a grease trap and a series of reactors, which were inoculated with each strain and a bacterial consortium to evaluate its efficiency, was designed. Although all showed a positive response in the system, the strain *Pseudomonas putida* was the best performance showed the following results: 87.45% BOD<sub>5</sub>, COD and 65.55% 57.37% S.S.T. Finally we must even if favorable removal percentages were obtained, is not yet fulfills the maximum values set by resolution 0631 of 2015, so it is necessary to evaluate treatments improve tertiary treatment system.

**Keywords:** Degrading bacteria, eutrophication, whey, biological treatment and liquid discharges.



## Introducción

El agua es uno de los recursos más utilizados por los seres vivos para su supervivencia, es por ello que se ha visto enormemente afectado, ya que un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales, lo que implica un deterioro en la calidad de vida de todos los que de ella dependen (Félez, 2009, p. 13).

Las descargas de las aguas residuales municipales se han convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y más crecientes, si consideramos que el incremento poblacional de la mayoría de los centros urbanos medianos y grandes es notable debido a la situación socioeconómica y de orden público del país (Minambiente, 2002, p. 10).

En el sector industrial de Manizales se encuentran una serie de industrias dedicadas a la producción de alimentos; una de estas industrias es la láctea, su principal residual es el lacto-suero, subproducto que se obtiene durante la elaboración del queso tras la separación de la caseína. El lacto-suero constituye aproximadamente el 85-95 % del volumen de la leche y contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de ésta, se compone principalmente de lactosa, proteínas, grasas y minerales, con un contenido de materia orgánica entre 40 y 60 g/L de DBO<sub>5</sub> y entre 50 y 80 g/L de DQO. La continua descarga de lacto-suero en los suelos puede dañar su estructura física y química, reducir la producción de cultivos e incluso puede provocar serios problemas de contaminación en aguas subterráneas y superficiales (Guerrero, Castilla, Cárdenas, Gómez & Castro, 2012). Debido a esto y a la necesidad manifiesta del sector lácteo, se hace importante estudiar y formular soluciones que conlleven a la minimización de esta problemática.

Para iniciar esta investigación fue necesario partir de bacterias aisladas de los efluentes de la empresa en estudio por el macro proyecto “Plan de Manejo Integral del Lacto-suero” formulado desde el SENA Regional Caldas a través de SENNOVA - Centro para la Formación Cafetera.

En la evaluación del sistema de tratamiento biológico aerobio a nivel de laboratorio, fue necesario inicialmente caracterizar fisicoquímicamente el lacto-suero en parámetros como: Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T) por gravimetría, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) por respirometría y Demanda Química de Oxígeno (DQO) por espectrofotometría. Seguidamente el lacto-suero fue inoculado con bacterias nativas: *Pseudomona putida*, *Pseudomona mendocina* y *Hafnia alvei*, finalmente se evaluó la tasa de remoción en S.S.T, DBO<sub>5</sub> y DQO para determinar la eficiencia del tratamiento a nivel de laboratorio.

El tratamiento biológico aerobio ha sido estudiado en los últimos años utilizando otras bacterias (*Pseudomona fluorescens* y *Bacillus spp.*). Se han evaluado concentraciones de DQO de 60.000 mg/L, obteniendo eficiencias del 90% con *Pseudomona fluorescens* y 54% con *Bacillus spp.*, con una diferencia de un 36% de eficiencia aproximadamente entre ambas bacterias y con un periodo de tratamiento de 20 días (Kabbout, Baroudi, Dabboussi, Halwani, & Taha, 2011). Así mismo Ebrahimi, Najafpour, Mohammadi y Hashemiyeh, 2010 evaluaron este tipo de efluente a través de un contactor biológico aeróbico (NRBC) con concentraciones de DQO de 40 a 70 g/L, y varios THR 8, 12 y 16 horas, donde se obtuvieron porcentajes de remoción entre el 53% y el 78% en DQO. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue evaluar un tratamiento biológico aerobio a nivel de laboratorio utilizando otras cepas, con el fin de determinar su capacidad de remoción con un periodo de tratamiento de 7 días.

## Tabla de contenido

Resumen .....	VI
Introducción.....	IX
Índice de figuras.....	XV
Índice de tablas .....	XVII
1. Planteamiento del problema .....	1
2. Justificación.....	3
3. Objetivos .....	5
3.1 Objetivo General .....	5
3.2 Objetivos Específicos.....	5
4. Marco Teórico .....	6
4.1 Aguas Residuales.....	6
4.1.1 Generalidades. ....	6
4.1.2 Definición de aguas residuales.....	7
4.2 Clasificación de las aguas residuales.....	7
4.2.1 Aguas residuales domésticas. ....	7
4.2.2 Aguas residuales de agricultura y ganadería. ....	8
4.2.3 Aguas residuales Industriales.....	8
4.3 Efluentes de la producción de queso.....	10

4.3.1 Suero de queso. ....	10
4.3.2 Suero de queso (CW). ....	12
4.3.3 Segundo suero de queso (SCW). ....	13
4.3.4 Aguas residuales de suero de queso (CWW). ....	13
4.4 Tratamientos para aguas residuales de suero de queso .....	15
4.4.1 Físicoquímico – Coagulación/Floculación. ....	15
4.4.2 Biológicos (Biorremediación). ....	16
4.5 Microorganismos .....	17
4.5.1 Características macroscópicas. ....	18
4.5.2 Características microscópicas. ....	19
4.5.3 <i>Pseudomonas putida</i> . ....	20
4.5.4 <i>Pseudomonas mendocina</i> . ....	21
4.5.5 <i>Hafnia alvei</i> . ....	22
4.6 Metabolismo microbiano.....	22
5. Antecedentes .....	24
6. Metodología.....	26
6.1 Determinación de las características físicoquímicas de los vertimientos de lacto-suero con el fin de establecer la carga contaminante inicial. ....	27
6.1.1 Toma de muestras .....	27
6.1.2 Caracterización físicoquímica.....	28

6.2 Identificación de los niveles de remoción de DBO <sub>5</sub> , DQO y SST en los vertimientos de lacto-suero a partir del tratamiento aerobio a nivel de laboratorio. ....	28
6.2.1 Cinética de crecimiento de los aislados objetos de estudio. ....	28
6.2.2 Montaje de tratamiento biológico aerobio de lacto-suero .....	29
6.3 Evaluación de la eficiencia de remoción obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio en los vertimientos de lacto-suero.....	29
7. Resultados y discusión .....	31
7.1 Determinación de las características fisicoquímicas de los vertimientos de lacto-suero con el fin de establecer la carga contaminante inicial. ....	31
7.1.1 Toma de muestras. ....	31
7.1.2 Análisis fisicoquímico. ....	32
7.2 Identificación de los niveles de remoción de DBO <sub>5</sub> , DQO y SST en los vertimientos de lacto-suero a partir del tratamiento aerobio a nivel de laboratorio. ....	33
7.3 Evaluación de la eficiencia de remoción obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio en los vertimientos de lacto-suero.....	38
7.4 Evaluación de los niveles de remoción de DBO <sub>5</sub> , DQO y SST posterior al tratamiento biológico ....	42
7.4.1 Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> posterior al tratamiento biológico.....	44
7.4.2 Porcentaje de remoción de DQO posterior al tratamiento biológico.....	46
7.4.3 Porcentaje de remoción de S.S.T posterior al tratamiento biológico.....	47
7.4.4 Porcentaje de remoción promedio DBO <sub>5</sub> , DQO y S.S.T.....	48
8. Conclusiones y recomendaciones.....	52

8.1 Conclusiones .....	52
8.2 Recomendaciones .....	53
9. Referencias Bibliográficas .....	55

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Diagrama de proceso de la investigación.....	26
<i>Figura 2.</i> Cinética de crecimiento y análisis de pH del aislado 59 ( <i>Pseudomona putida</i> ). .....	34
<i>Figura 3.</i> Índice de correlación Absorbancia Vs. Tiempo del aislado 59 ( <i>Pseudomona putida</i> ). .....	34
<i>Figura 4.</i> Cinética de crecimiento y análisis de pH del aislado 74 ( <i>Pseudomona mendocina</i> ). .....	35
<i>Figura 5.</i> Índice de correlación Absorbancia Vs. Tiempo del aislado 74 ( <i>Pseudomona mendocina</i> ). .....	35
<i>Figura 6.</i> Cinética de crecimiento y análisis de pH del aislado 006 ( <i>Hafnia alvei</i> ). .....	36
<i>Figura 7.</i> Índice de correlación Absorbancia Vs. Tiempo del aislado 006 ( <i>Hafnia alvei</i> ). .....	36
<i>Figura 8.</i> Cinética de crecimiento y análisis de pH de los aislados NE3 y NE9 nativos de una empresa de lácteos y del maíz (Cuesta, 2014). .....	38
<i>Figura 9.</i> Montaje de tratamiento biológico aerobio a escala de laboratorio.....	38
<i>Figura 10.</i> Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el aislado 59 ( <i>Pseudomona putida</i> ). .....	39
<i>Figura 11.</i> Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el aislado 74 ( <i>Pseudomona mendocina</i> ). .....	39
<i>Figura 12.</i> Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el aislado 006 ( <i>Hafnia alvei</i> ). ....	40
<i>Figura 13.</i> Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el Consorcio ( <i>Pseudomona putida</i> , <i>Pseudomona mendocina</i> y <i>Hafnia alvei</i> ). .....	40
<i>Figura 14.</i> Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el Control. ....	41
<i>Figura 15.</i> Comportamiento del pH en afluente de una empresa de alimentos lácteos y del maíz al inocular el aislado NP2 (Cuesta, 2014). .....	42
<i>Figura 16.</i> Comparativo en remoción DBO <sub>5</sub> en vertimientos lácteos con cada aislado. ....	45
<i>Figura 17.</i> Comparativo en remoción DQO en vertimientos lácteos con cada aislado. ....	47

<i>Figura 18.</i> Comparativo en remoción S.S.T en vertimientos lácteos con cada aislado. ....	48
<i>Figura 19.</i> Comparativo entre remociones con respecto a cada asilado. ....	50
<i>Figura 20.</i> Resumen de respiración aeróbica. (González, 2012). ....	50
<i>Figura 21.</i> Remoción de la carga orgánica del Lacto-suero. ....	51



## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Resultados de los parámetros in situ de tres muestreos puntuales realizados en la empresa láctea objeto de estudio.</i> .....	32
Tabla 2 <i>Resultados de la caracterización fisicoquímica inicial del lacto-suero crudo.</i> .....	33
Tabla 3 <i>Codificación de los aislados objeto de estudio.</i> .....	33
Tabla 4 <i>Resultados de la caracterización fisicoquímica final del lacto-suero posterior al tratamiento biológico (DBO<sub>5</sub>).</i> .....	43
Tabla 5 <i>Resultados de la caracterización fisicoquímica final del lacto-suero posterior al tratamiento biológico (DQO).</i> .....	44
Tabla 6 <i>Resultados de la caracterización fisicoquímica final del lacto-suero posterior al tratamiento biológico (S.S.T).</i> .....	44
Tabla 7 <i>Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> en lacto-suero.</i> .....	45
Tabla 8 <i>Porcentaje de remoción de DQO en lacto-suero.</i> .....	46
Tabla 9 <i>Porcentaje de remoción de S.S.T en lacto-suero.</i> .....	48
Tabla 10 <i>Porcentaje de remoción promedio en lacto-suero.</i> .....	49

## 1. Planteamiento del problema

La creciente población mundial ha llevado a la sobreexplotación de los recursos naturales principalmente el recurso hídrico, lo cual ha generado un aumento significativo en la contaminación del mismo. El agua es un recurso de vital importancia para cualquier ser vivo y el desarrollo de sus actividades; parte de esas actividades se dan en los diferentes tipos de industria existentes, tal es el caso de la industria de lácteos, la cual aporta grandes cantidades de vertimientos y contaminación a los cuerpos de agua (Minambiente, 2002, p.44).

Los residuos líquidos generados en esta actividad industrial son uno de los principales contaminantes de los cuerpos de agua, debido a su alto contenido de materia orgánica. Para la elaboración del queso se utiliza aproximadamente el 10% del volumen total de la leche, convirtiéndose en 90% en residuo (Ramírez & Valencia, 2009, p. 28).

Al representar este cerca del 90% del volumen de la leche, contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de ésta. Su composición varía dependiendo del origen de la leche y el tipo de queso elaborado, pero en general el contenido aproximado es de 93.1% de agua, 4.9% de lactosa, 0.9% de proteína cruda, 0.6% de cenizas (minerales), 0.3% de grasa, 0.2% de ácido láctico y vitaminas hidrosolubles (Ramírez & Valencia, 2009, p. 28). Teniendo en cuenta estas características y según Kabbout et al., (2011) este tipo de aguas pueden tener alrededor de 0.6 – 1 g/L de Nitrógeno, es decir, que de ser vertidas directamente a un cuerpo de agua puede generar eutrofización, pérdida de biodiversidad y en general el deterioro del recurso hídrico.

La alta capacidad contaminante del lacto-suero, con una DBO<sub>5</sub> que varía entre 30,000 a 50,000 mg/l, además de la cantidad de ácido láctico presente en él, altera significativamente los procesos biológicos que se llevan a cabo en las plantas de tratamiento aumentando los costos. Para el tratamiento de suero lácteo, preferiblemente se aplican tratamientos biológicos antes de que sea vertido a los suelos y/o cuerpos de agua. (Ramírez & Valencia, 2009, p.30).

En algunas empresas lácteas del sector existe debilidad en los sistemas de tratamiento, por lo tanto además de contribuir con el aumento de la contaminación, incumplirían con la actual reglamentación del Decreto 3930 de 2010 - Resolución 631 de 2015 y el Decreto 2667 de 2012, los cuales regulan la calidad de las descargas y las tasas retributivas por el uso del agua como receptor de vertimientos puntuales (Minambiente, 2015, p. 15). A raíz de esto las industrias se han visto en la obligación de buscar alternativas para el tratamiento de sus efluentes antes de ser vertidos.

## 2. Justificación

La resolución 631 del 2015 es la actual reglamentación del decreto 3930 del 2010, en ella se establecen los parámetros y niveles máximos permisibles para vertimientos puntuales teniendo en cuenta el tipo de industria.

Para el caso de empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos la legislación establece valores máximos permisibles de pH entre 6 y 9, DQO de 450 mg/L O<sub>2</sub>, DBO<sub>5</sub> de 250 mg/L O<sub>2</sub> y Sólidos Suspendidos Totales con un valor máximo de 150 mg/L. (Minambiente, 2015, p. 15).

La mayoría de empresas lácteas del sector estudiado no realizan aprovechamiento a los residuos líquidos generados, y no cuentan con ningún tipo de tratamiento para los mismos. De ahí la importancia de evaluar un tratamiento para mejorar las condiciones ambientales y dar cumplimiento a la actual legislación ambiental.

Teniendo en cuenta las exigencias de la legislación ambiental y la necesidad que presenta el sector lácteo de la región de buscar alternativas de tratamiento económicas y eficientes en la reducción de la carga contaminante y los impactos ambientales generados por sus vertimientos, se consideró la evaluación de un tratamiento biológico aerobio.

La biorremediación es una tecnología utilizada desde hace varios años, se basa en el uso de microorganismos para recuperar áreas contaminadas. Es por ello que se ve en esta, una alternativa de tratamiento mediante el uso de microorganismos nativos para la depuración de la materia orgánica presente en el lacto-suero (Cortón & Viale 2006, p. 2), lo anterior no solo

beneficiaría al medio ambiente, sino también a la industria láctea y la comunidad en general, ya que se podría hacer uso de lo que la naturaleza nos brinda de manera sostenible.

El aprovechamiento del potencial que tienen algunos microorganismos para la depuración de las aguas residuales ha sido una excelente herramienta natural para la transformación de compuestos nocivos en compuestos más asimilables al medio ambiente (Castillo et al., 2005 p.31).

La integración de la biotecnología y la gestión ambiental permitiría a la industria láctea la reducción de costos en las tasas retributivas por vertimientos a través de la implementación de tratamientos biológicos, siendo estos menos costosos y complejos en cuanto a operación y mantenimiento; de igual forma, aportarían a la reducción de la contaminación ambiental y minimizar la afectación a los recursos hídricos.

Es por ello que se hace necesario profundizar en la investigación de posibles tratamientos para este efluente, considerándose la biorremediación mediante el uso de microorganismos nativos como una alternativa de tratamiento, pues es una tecnología amigable con el medio ambiente, económica y de fácil implementación (Cortón & Viale 2006, p. 2).

Teniendo en cuenta lo expuesto y mediante el acompañamiento de instituciones como la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, el SENA Regional Caldas a través de SENNOVA Investigación Aplicada y el Centro para la Formación Cafetera, se brinda la posibilidad de llevar a cabo el estudio de esta propuesta que mejoraría las condiciones ambientales actuales que surgen a raíz de la contaminación provocada por la industria láctea.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Evaluar la eficiencia de un tratamiento biológico aerobio mediante el uso de las bacterias *Pseudomona putida*, *Pseudomona mendocina* y *Hafnia alvei*, como alternativa de tratamiento para vertimientos líquidos de una industria láctea de la ciudad de Manizales.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Determinar las características fisicoquímicas de los vertimientos de lacto-suero con el fin de establecer la carga contaminante inicial.

Identificar los niveles de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en los vertimientos de lacto suero a partir del tratamiento biológico a nivel de laboratorio en vertimientos líquidos de una industria láctea posterior al proceso de tratamiento.

Evaluar la eficiencia de remoción obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio en los vertimientos de lacto-suero.

## **4. Marco Teórico**

Dentro del desarrollo de investigaciones con respecto al tratamiento de aguas residuales haciendo uso de microorganismos específicos, es necesario partir de conceptos básicos que permitan tener una mayor comprensión en el desarrollo de esta, es así como se inicia documentando los diferentes tipos de aguas residuales.

### **4.1 Aguas Residuales**

#### **4.1.1 Generalidades.**

El agua es el constituyente inorgánico más abundante en la materia viva: en el hombre, más de 60% de su peso está constituido por agua, y en ciertos animales acuáticos tal porcentaje asciende al 98%. El agua es fundamental para el mantenimiento de la vida (Von, 2005, p. 19).

El agua es elemento fundamental, prácticamente fuente de toda vida, constituyendo parte integrante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo para el proceso de las funciones orgánicas. También es indispensable para diferentes usos humanos que proporcionan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, hasta la industria y el esparcimiento. El agua se encuentra en la naturaleza en diversas formas y características, y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema; el planeta tierra (Muñoz, 2008, p. 5).

#### **4.1.2 Definición de aguas residuales.**

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

En general, se denominan aguas residuales domésticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas, residencias, edificios comerciales e instituciones, son producto del desarrollo de las actividades cotidianas de las personas y la cantidad de concentración de estos en función de sus orígenes y componentes (Carrillo & Gómez, 2008, p. 26).

### **4.2 Clasificación de las aguas residuales**

#### **4.2.1 Aguas residuales domésticas.**

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014).

Las zonas residenciales y los centros comerciales constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales domésticas, aunque también debe tenerse en cuenta la importante contribución que representan los edificios institucionales y los espacios recreacionales (Tchobaloglous, 1995, p.30).



#### **4.2.2 Aguas residuales de agricultura y ganadería.**

La contaminación de las aguas procedentes de este tipo de actividades es muy importante, dada la alta concentración de contaminantes que puede llegar a tener como lo son: fertilizantes, abonos, excrementos, etc. (Romero, 2010, p.66).

#### **4.2.3 Aguas residuales Industriales.**

Las aguas residuales industriales las constituyen los desechos líquidos provenientes de una fábrica o empresa que produce cualquier clase de material o artículo sometido a oferta y demanda en el mercado y son diferentes de las aguas de suministros utilizadas por el establecimiento en sus procesos de producción. En ellas pueden incluirse algunas generadas en el comercio y los hospitales o similares. (ANDI-BID, 1997).

Las aguas residuales de proceso provienen del empleo del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. La contaminación de la misma proviene del contacto con los productos de fabricación o los líquidos residuales. Habitualmente, la concentración por agentes contaminantes es diez veces inferior a los líquidos residuales, pero su caudal puede llegar a ser cincuenta veces superior (Portal Ambientum, 2002, p. 2).

Las industrias se clasifican en cinco grupos según su tipo de vertimiento:

Industrias con efluentes principalmente orgánicos: Papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, conserveras, lecherías y subproductos, fermentaciones, preparación de productos alimenticios, bebidas y lavanderías.

Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos: Refinerías y petroquímicas, coquerías, químicas y textiles.

Industrias con efluentes principalmente inorgánicos: Químicas, limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.

Industrias con efluentes con materias en suspensión: Lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continua.

Industrias con efluentes de refrigeración: Centrales térmicas y centrales nucleares (Portal Ambientum, 2002, p. 2).

Cada tipo de actividad industrial, según el proceso, vierte un agua residual caracterizada por un tipo de contaminación determinada. De modo general se conocen los parámetros característicos de cada una de ellas, pero es precisa su determinación detallada para valorar su tratamiento y posterior incidencia en el medio receptor (Portal Ambientum, 2002, p. 2).

En resumen, las contaminaciones básicas, según el tipo de industria son:

Industria láctea: Alta concentración de materia orgánica.

Industria petroquímica: Concentración de materia orgánica, aceites, fenoles, amoníaco y sulfuros.

Industria del curtido: Alcalinidad, concentración de materia orgánica, materia en suspensión, materia decantable, sulfuros y cromo.

Industria papelera: Color, concentración de materia orgánica, materia en suspensión y materia decantable, pH y AOX-EOX.

Industrias de lavado de mineral: Concentración de productos tóxicos empleados, sólidos en suspensión y sedimentables.

Industria de acabado de metales: pH, concentración de cianuros y metales pesados.

Industria siderúrgica: concentración de materia orgánica, fenoles, alquitranes, cianuros libres y complejos, sulfuros, materias en suspensión, hierro, aceites, grasas y pH.

Plantas de ácido sulfúrico: Concentración de ácidos, sólidos sedimentables, arsénico, selenio y mercurio (Portal Ambientum, 2002, p. 2).

Dentro de la industria láctea se presentan varios tipos de residuos, entre ellos el lactosuero producto de la fabricación del queso, a continuación se presenta una descripción de los diferentes tipos de efluentes derivados de este proceso.

### **4.3 Efluentes de la producción de queso**

#### **4.3.1 Suero de queso.**

Según la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) el queso es uno de los principales productos agrícolas en todo el mundo. Las empresas lácteas generan efluentes que son altamente contaminantes. Los altos niveles de DBO<sub>5</sub> y DQO implican un alto consumo de oxígeno disuelto, lo que ocasiona la pérdida de la vida acuática (Carvalho, Prazeres & Rivas, 2013).

Normalmente, este efluente tiene un pH bajo, aunque también tiene un pH básico, se ha informado un intervalo de 3,3 a 9,0. Los sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total presentan altos contenidos de materia orgánica que pueden generar eutrofización en los cuerpos de agua (Carvalho et al., 2013, p. 386).

La eutrofización es el enriquecimiento en nutrientes de las aguas. Produce un crecimiento excesivo de algas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los ríos o lagos, generando residuos orgánicos que, al descomponerse, consumen gran parte del oxígeno disuelto y de esta manera pueden afectar a la vida acuática y producir la muerte por asfixia de la fauna y flora, hasta el punto de matar el río o lago por completo (Romero, 2010, p. 66).

Independientemente del tipo de queso, el proceso de elaboración del queso implica procedimientos generales comunes que se pueden resumir de la siguiente manera. La leche utilizada en la fabricación del queso se almacena a una temperatura baja en tanques de acero inoxidable. A partir de ese momento la leche se envía a la coagulación mediante la adición de agentes microbianos o cuajo vegetal. Después del tiempo requerido, la leche fermentada produce la cuajada que se corta y se convierte en el producto comercial. Parte del suero de queso (CW) resultante del queso duro se procesa para obtener el queso cottage o cuajada de queso. La producción de queso cottage conduce a la generación de un segundo suero de queso (SCW) o suero de queso cottage (Carvalho et al., 2013, p. 386).

### **4.3.2 Suero de queso (CW).**

Los residuos líquidos producidos por la industria láctea industrias y queserías constituyen uno de los contaminantes industriales más importantes. Estos residuos se pueden dividir en dos categorías principales. El primero uno se refiere a las aguas de lavado y pasteurización que constituyen casi dos tercios de los efluentes y el efluente se considera principalmente inofensivo. La segunda categoría se refiere al suero de queso clasificado en suero de leche cruda y azúcar de la leche (Oktav & Ozer, 2013, p. 21).

El suero es la fase acuosa separada de la cuajada durante la fabricación de queso o la producción de caseína. Se caracteriza por un alto la demanda biológica de oxígeno (DBO) y química la demanda de oxígeno concentraciones (COD), y generalmente contiene grasas, nutrientes y la lactosa (Oktav & Ozer, 2013, p. 21).

Su composición varía dependiendo de las características, origen de la leche y de las condiciones de elaboración de queso de que proceda, pero, en términos generales, se puede decir que el suero contiene: 4,9% lactosa, 0,9% proteína cruda, 0,6% cenizas, 0,3% grasa, 0,2% ácido láctico y 93,1% agua (López, 2004, p. 197).

El suero de leche, según su acidez, se divide en tres tipos: suero dulce como pH mayor a 5,8, suero medio ácido con pH entre 5,8 y 5 y suero ácido con pH menor a 5,0 (López, 2004, p. 197).

El suero de queso es considerado el contaminante más importante en los productos lácteos, no sólo debido a la alta carga orgánica, sino también por el volumen generado. La cantidad de suero de leche producida está relacionada con la productividad de queso. (Carvalho et al., 2013, p. 387).

### **4.3.3 Segundo suero de queso (SCW).**

Es el líquido que queda después de haber hervido el suero y extraído el requesón. Este segundo suero es de color amarillento verdoso claro pero con mucha menos turbidez que el suero. Tiene propiedades medicinales y laxantes y por ello en algunas ocasiones solían subir a las majadas personas provistas de botellas o pequeñas garrafas para consumirlo como depurativo (Leizaola, 2011, p. 522).

El SCW tiene características ácidas con valores de pH de 3-6. Un valor biodegradabilidad cerca de 0,5 hace que estos efluentes sean adecuados para someterse a la degradación biológica. Proteína ( $\approx 0.5-8 \text{ L}^{-1}$ ), sólidos totales ( $\approx 6.8 \text{ g L}^{-1}$ ) y nitrógeno total ( $2 \text{ g L}^{-1}$ ) son similares a los reportados para CW. Los valores de DQO ( $60-80 \text{ g L}^{-1}$ ), DBO ( $\approx 30 \text{ g L}^{-1}$ ), grasas ( $0,5-8 \text{ g L}^{-1}$ ) y los sólidos suspendidos totales ( $\approx 8.0 \text{ g L}^{-1}$ ) son normalmente por debajo de los valores máximos observados en CW. Estos valores más bajos son consecuencia de la segunda floculación que se lleva a cabo para obtener la cabaña queso. La segunda floculación se lleva a cabo por calentamiento de la CW a  $100^\circ\text{C}$ . La formación de aglomerados de esa trampa de sólidos en suspensión, proteínas y las grasas, se produce durante el proceso (Carvalho et al., 2013, p. 388).

### **4.3.4 Aguas residuales de suero de queso (CWW).**

Las aguas residuales de suero de queso presentan características similares al de CW. Sin embargo el nivel de contaminación de CWW es generalmente más bajo que el CW. El

nivel de contaminación de CWW es variable y puede explicarse teniendo en cuenta que CWW se puede generar después de diferentes procedimientos:

1. Queso de suero de leche que no se utiliza en la producción de queso cottage y es directamente añadido a agua de lavado.

2. Queso de suero de leche que se utiliza en la producción de queso cottage y segundo suero de leche se añade a agua de lavado.

3. CW y CCW son valorizados y no se agregan a la lavadora de agua.

Además, la variabilidad puede atribuirse también a la leche cruda y al volumen de agua de lavado. La cantidad de aguas residuales de suero de queso varía de acuerdo a cada país, empresa, metodología aplicada, tipo de leche forzada y la conciencia ambiental (Carvalho et al., 2013, p. 388).

Las aguas residuales de suero de queso en general presentan características ácidas; sin embargo el pH básico también ha sido reportado. Este parámetro está lógicamente afectado por el volumen de reactivos alcalinos utilizados en las etapas de lavado. En general, CWW tiene una elevada concentración de materia orgánica, sin embargo valora una amplia gama de 0,8 - 77 (DQO) y 0,6 a 16 g L<sup>-1</sup> (DBO) se pueden encontrar en la literatura. El contenido de lactosa, proteínas y grasas es en promedio de 45, 34 y 6 g L<sup>-1</sup>, respectivamente (Carvalho et al., 2013, p. 388).

A continuación se presenta una recopilación de diferentes tipos de tratamiento aplicados a la biodegradación del lacto-suero generado en la producción de queso.

## **4.4 Tratamientos para aguas residuales de suero de queso**

### **4.4.1 Físicoquímico – Coagulación/Floculación.**

El tratamiento físicoquímico permite la eliminación de material suspendido, DBO<sub>5</sub> y DQO mediante la adición de químicos que facilitan la desestabilización de las partículas que componen la materia. El proceso de coagulación-floculación es un tratamiento primario que permite la eliminación de impurezas de aguas residuales. El principal objetivo de la coagulación es desestabilizar las partículas finas en suspensión facilitando de este modo su aglomeración. Por lo general se caracteriza por inyección y rápida dispersión de los productos químicos, este método puede aumentar sustancialmente la eficiencia de los tratamientos secundarios (Lafleur, Fortier, Kharoune, & Kharoune, 2008, p. 2).

El proceso de coagulación-floculación se puede utilizar para eliminar múltiples tipos de sustancias orgánicas e inorgánicas, grasas, aceites, fósforo, materia suspensión (MES), metales pesados, etc. Así pues, este método permite la reducción de la solicitud bioquímica y química de oxígeno (BOD y COD), y una reducción en poblaciones bacterianas (Lafleur et al., 2008, p. 2).

Los siguientes factores optimizan el proceso de coagulación: pH, turbiedad, sales disueltas, temperatura del agua, tipo de coagulante utilizado, condiciones de mezcla, sistema de aplicación de los coagulantes, tipos de mezcla y el color. La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar en el agua (Andía, 2000, p. 16).



Varios productos químicos se pueden utilizar en el proceso de coagulación-floculación, las sales metálicas son innegablemente los coagulantes más utilizados en el mundo actualmente. Otras investigaciones muestran que el uso de polímeros de base biológica es una vía prometedora (Lafleur et al., 2008, p. 3).

#### **4.4.2 Biológicos (Biorremediación).**

Los tratamientos convencionales de efluentes de lacto-suero se basan en procesos de digestión aeróbica y anaeróbica. Un número de investigadores han afirmado que los procesos anaeróbicos son esencialmente el único método viable de tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica de queso. En consecuencia, la mayoría de los estudios se han realizado en condiciones anaeróbicas utilizando Manto Anaerobio de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) (Carvalho et al., 2013, p. 390).

Se han estudiado tratamientos biológicos a través de la degradación de la materia orgánica, utilizando una alta población de bacterias lácticas (*Lactobacillus* y *Pedicoccus*, la levadura *Saccharomyces*) y bacterias fototróficas. Observaron a raíz de una combinación de tratamiento biológico en suspensión con lagunas, que se reduce el 95% de la DBO<sub>5</sub>. El uso de hongos permite una reducción de los lodos exceso por lo que consumen compuestos más orgánicos, disminuyendo así DQO y DBO<sub>5</sub>, y por lo tanto olores desagradables. También eficiencias de remoción de DQO de hasta un 70% utilizando 3 hongos en el tratamiento de efluentes lácteos: *Aspergillus Níger*, *Mucor* y *hy-melis Galactomyces geotrichum* (Kabbout et al., 2011, p. 124).

En los tratamientos aerobios de aguas residuales encontramos una gran diversidad de bacterias, con diferentes capacidades exo- y endoenzimáticas. Destacamos los géneros *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*; *Aeromonas*, *Klebsiella*, *Haliscomenobacter*, *Gordonia*, etc. (Arnáiz, Isac & Lebrato, 2000, pp.1-2).

Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costes económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas como el dióxido de carbono, el metano, el nitrógeno molecular, y el agua. Los costes de inversión de los procesos biológicos son del orden de 5 a 20 veces menores que los químicos. A su vez, los costes de tratamiento son de 3 a 10 veces menores (Arnáiz, et al. 2000, p.4).

Los tratamientos biológicos hacen parte de una serie de etapas en la depuración de aguas residuales, donde los principales actores son los microorganismos, quienes mediante su metabolismo realizan una serie de transformaciones a la materia orgánica presente en el efluente a tratar. Es importante conocer los conceptos básicos de los microorganismos, sus principales características, para poder garantizar las condiciones básicas en el medio para un adecuado proceso de tratamiento.

#### **4.5 Microorganismos**

Los microbios corresponden a organismos tales como bacterias, hongos y levaduras, es decir procariontes y eucariontes que midan menos de una décima de milímetro. Mención aparte merecen los virus, partículas inanimadas de material genético protegido por capas más

o menos complejas de proteínas y lípidos. Carecen de actividad metabólica cuando se encuentran libres (Andino & Castillo, 2010, p. 5).

Los microorganismos participan en procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas, y biotecnológicos que son esenciales para la industria farmacéutica, alimenticia y médica. Ellos son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica y del ciclo de los nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, etc.) (Montaño, Sandoval, Camargo, & Sánchez, 2010, p. 17).

#### **4.5.1 Características macroscópicas.**

Las bacterias son visibles como colonias cuando se siembran en medios de cultivo sólidos adecuados. Requieren una incubación de aproximadamente 24 horas en una atmósfera que favorezca su desarrollo, a temperatura óptima (Pérez & Mota, 2006, p. 26).

Una colonia está constituida por los descendientes de una o unas pocas células. El tamaño puede variar desde 0.5 mm o más grandes como las enterobacterias. La forma de la colonia puede ser circular (*Staphylococcus*), irregular o filamentosa (*Bacillus*). Los bordes pueden ser ondulados (característicos de los bacilos largos como *Bacillus anthracis*), en sierra o dentados (*Yersinia pestis*) o lisos (por ejemplo *Proteus vulgaris* o *Escherichia coli*) (Pérez & Mota, 2006, p.27).

La superficie de la colonia también es orientadora y puede ser: plana, convexa, mamelonada, umbilicada (*S. pneumoniae*). En relación al pigmento que adquieren, éste puede ser: verde (*P. aeruginosa*), amarillo (*S. aureus*), grisáceo (*N. meningitidis*). También es diferente el comportamiento frente a la luz: brillante (*Streptococcus*) u opaca

(*Staphylococcus*). Pueden presentar olores particulares como el frutal de *P. aeruginosa* o el putrefacto de los anaerobios (Pérez & Mota, 2006, p.27).

Por último hay que destacar la consistencia: mucoide (M), liso (S) o rugoso (R). Las colonias M tienen aspecto acuoso, brillante, propio de las bacterias capsuladas o que forman cubiertas polisacáridas como *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* (Pérez & Mota, 2006, p.27).

#### **4.5.2 Características microscópicas.**

La forma de las bacterias al microscopio está determinada por la rigidez de su pared celular. Básicamente, se diferencian según su forma en cocos (esféricas u ovaladas), bacilos (cilíndrica o de bastones; rectos o curvos) y espirilos (espiral). Las espirilos varían en el número de vueltas, desde pocas (*Borrelia*) a muchas (*Treponema*) (Pérez & Mota, 2006, pp.24-25).

Las bacterias pueden mantenerse unidas unas con otras después de la división celular, pero conservando siempre la independencia celular. Si el plano de división es único, podemos encontrar diplococos o cocos en cadena (microorganismos del género *Streptococcus*). Si los planos de división son muchos, los cocos pueden agruparse en tétradas o en racimos (*Staphylococcus*). Los bacilos pueden ser muy cortos (cocobacilos) o muy largos. Sus extremos pueden ser redondeados o rectos; pueden estar aislados, en cadenas, en filamentos o formando letras chinas (*Corynebacterium*). Los bacilos curvos pueden tener forma de coma (*Vibrio cholerae*) (Pérez & Mota, 2006, p.25).

La morfología bacteriana debe ser observada con el microscopio óptico o el microscopio electrónico, dado el tamaño pequeño de estos microorganismos. El más usado en el laboratorio es el microscopio óptico de campo claro, pero existen otros como el microscopio óptico de campo oscuro en los que los organismos aparecen brillantes en fondo oscuro.

Las bacterias pueden observarse sin tinción (examen en fresco) si se las coloca en glicerol o soluciones no acuosas que aumenten el índice de refracción o con tinción usando distintas coloraciones que mejoran su visualización ya que son células incoloras. Dichas tinciones se basan en la afinidad que presentan los colorantes por las estructuras bacterianas. Los colorantes catiónicos por ejemplo, son atraídos por los componentes de carga negativa como los ácidos nucleicos y los polisacáridos. Ejemplo de este tipo son: el azul de metileno, el cristal violeta y la safranina (Pérez & Mota, 2006, p.25).

#### **4.5.3 *Pseudomona putida*.**

Las bacterias del género *Pseudomonas* poseen la habilidad para utilizar diversos sustratos, incluyendo aquellos creados por el petróleo. Las *Pseudomonas* son bacterias Gram negativas, obicuas, que pertenecen a la subclase gamma de las Proteobacterias.

La *Pseudomona putida* es un saprófito del suelo, oportunista, cosmopolita, metabólicamente versátil, por poseer una dioxigenasa inicial, una tolueno dioxigenasa, aunque no presenta la dioxigenasa específica para los PAHs por lo cual es una buena candidata para las aplicaciones biotecnológicas, tales como agricultura, biocatálisis, biorremediación, biocontrol en protección de las plantas y producción de bioplásticos. La *P. putida* posee la

capacidad de colonizar la rizosfera de plantas de cosecha y una gran capacidad metabólica que facilita el desarrollo de biopesticidas y promotores de crecimiento de la planta. La degradación de los alcanos por *Pseudomonas putida* se ha estudiado por secuenciación en el plásmido OCT que codifica una enzima dioxigenasa que convierte alcanos a aldehídos a través del hidropoxidasa del n-alkyl sin un intermediario del alcohol, conocido como la vía de Finnerty; un proceso similar lo presentan los géneros *Acinetobacter sp.* y *Nocardiodes sp.* aunque ellos no poseen este plásmido (Benavides, et al.2006, p.87).

#### **4.5.4 *Pseudomonas mendocina*.**

*Pseudomonas mendocina* son bacilos gramnegativos no fermentadores. Es una bacteria ambiental y rara vez se encuentra en muestras clínicas o reportado como patógeno humano (Nseir, Taha, Abid & Khateeb, 2011, p.375). Tiene una longitud aproximada de 1.4-2.8, oxidasa positiva, no es fluorescente pero si desnitrificadora (Brenner, Krieg, & Staley, 2009, p.359). Las colonias son de color amarillento debido a la producción de pigmento carotenoide; no adherente o arrugado en apariencia. La temperatura óptima, aproximadamente el 35°C. Se encuentra en el suelo y el agua; aislado mediante enriquecimiento en medios con nitrato bajo condiciones anaeróbicas, en especial a los 40°C. El etanol y el L (+) - tartrato pueden ser utilizados como fuentes de carbono en los enriquecimientos (Brenner, et al. 2009, p.369).

#### **4.5.5 *Hafnia alvei*.**

Bacilos rectos, aproximadamente de 1.0 \_ 2.0–5.0 µm, conforme a lo general definición de la familia Enterobacteriaceae. No encapsulada. Gram negativa. Móviles por flagelos peritricoso a 30°C, pero no móviles se pueden producir cepas. Anaerobios facultativos. Oxidasa negativo. La catalasa positivo. La mayoría de las cepas utilizan citrato como una sola fuente de carbono a 30°C después de 3-4 días de incubación. El nitrato se reduce a nitrito. H<sub>2</sub>S no se produce en la prueba de hierro Kligler Agar. La lisina y la ornitina descarboxilasa son positivas. La prueba de rojo de metilo suele ser positiva en el 35°C y negativo a 22°C. Se producen en las heces de los seres humanos y una gran variedad de animales, incluyendo los pájaros; también se producen en las aguas residuales, suelo, agua, y productos lácteos. Un miembro de la Gammaproteobacteria (Brenner, et al. 2009, p.682).

#### **4.6 Metabolismo microbiano**

La forma como los microorganismos trabajan e interactúan unos con otros hace que un proceso biológico de tratamiento de aguas sea o no eficiente. Un microorganismo puede inhibir el metabolismo de otro o transformar algún elemento que puede servir de materia prima para que otro microorganismo lo utilice en la realización de su metabolismo; también los microorganismos pueden trabajar en conjunto realizando un metabolismo cooperativo en el cual un organismo realiza las reacciones de oxidación y el otro las de reducción, logrando así la transformación de los elementos.

Metabolismo es la suma de transformaciones bioquímicas que incluyen reacciones catabólicas y anabólicas interrelacionadas. En otras palabras, es el conjunto de reacciones químicas que ocurren en los organismos vivos para intercambio de energía y formación de nuevo material celular; todas esas reacciones se agrupan en pasos ordenados llamados vías las cuales llevan a la síntesis de los diferentes componentes de los organismos como son las bases nitrogenadas, las proteínas, los lípidos y los azúcares entre otros.

El metabolismo integra el catabolismo (conjunto de acciones de producción de energía a partir de compuestos orgánicos e inorgánicos) y anabolismo (conjunto de reacciones que llevan a la formación de material celular) para lograr las transformaciones bioquímicas vitales para el mantenimiento celular y, por ende, para el funcionamiento de los procesos biológicos de tratamiento de agua residual (González, 2012, p. 111).



## 5. Antecedentes

La industria alimentaria en sus procesos debe utilizar grandes cantidades de agua de buena calidad que se requiere en los procesos de lavado, limpieza y desinfección; actividades que hacen de esta industria una de las de mayor generación de aguas residuales con altas cargas de contaminantes orgánicos (Arango & Garcés, 2007, p. 24).

El hombre ha usado microorganismos para diversos fines, esto se remonta a tiempos antiguos. Los arquitectos romanos diseñaron y utilizaron durante siglos intrincados sistemas para recoger el agua residual, 600 años antes de Cristo, los romanos utilizaban estos sistemas para manejar dichas aguas. Los historiadores actuales suponen que los romanos sabían que la depuración de las aguas servidas dependía directamente de su tiempo de retención en el sistema de canales y lagunas (Madigan, Marinko & Parker, 2003).

Hoy en día los microorganismos continúan utilizándose en la elaboración de una gran variedad de alimentos y como vía a la biorremediación de ecosistemas contaminados como el agua y el suelo básicamente (Madigan et al., 2003).

En el 2007 Argun y otros investigadores plantearon la gestión de los residuos generados en las empresas lácteas para la minimización de los vertimientos y la contaminación ambiental, a través de la reutilización del suero de queso; la alta carga orgánica se redujo en 64.300 mg/L.

En 2010 Ebrahimi e investigadores evaluaron dos tratamientos biológicos, uno aeróbico utilizando un contactor biológico rotativo (NRBC) y un tratamiento anaeróbico usando un reactor de flujo ascendente (UASB). Los resultados obtenidos fueron: remoción de

DQO de 53,69 y 78% con el reactor (UASB), y con el reactor (NRBC) una remoción de DQO de 96,8 97.4 y 96,4%.

En 2011 Kabbout e investigadores evaluaron dos tratamientos para los efluentes de las industrias lácteas: Tratamiento fisicoquímico con coagulación y floculación, el cual arrojó una eficiencia de 33% de la DQO, 45% de la turbidez, 72% de la materia en suspensión y 20% de fósforo total; y un tratamiento biológico utilizando *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus spp.* en el que se redujo considerablemente todos los parámetros siendo más eficaz la *Pseudomona fluorescens* que el *Bacillus spp.* con una diferencia de un 36% aproximadamente.

En el 2013 Oktav y Ozer estudiaron un pre tratamiento de suero de queso utilizando quitosano como coagulante y un proceso de microfiltración como un separador sólido/líquido dando como resultado la remoción de la DQO en un 68,1% utilizando quitosano a 5 mg/L a una presión de 2 bar.

## 6. Metodología

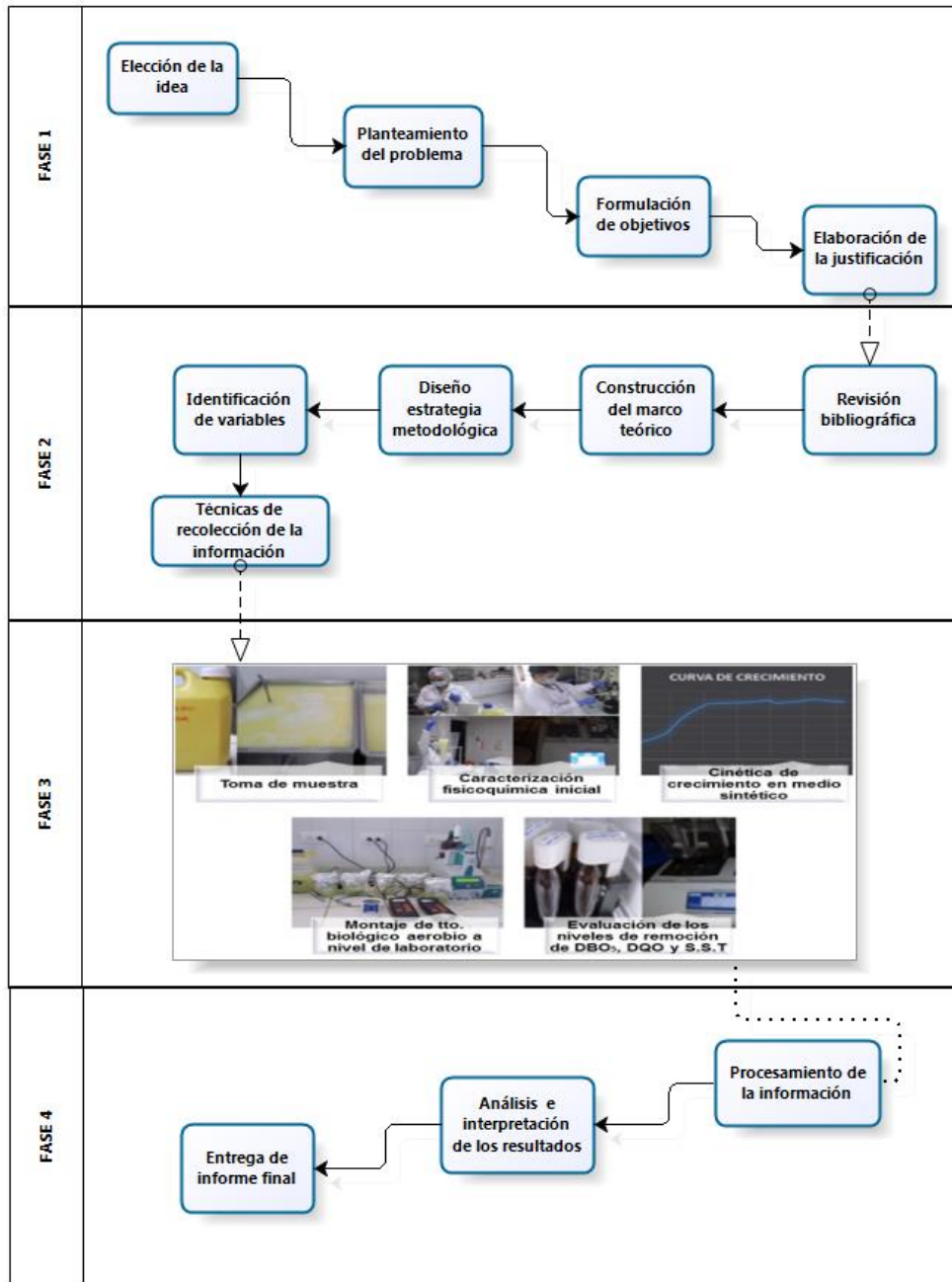


Figura 1. Diagrama de proceso de la investigación.

El proyecto se llevó a cabo a través de un diseño exploratorio experimental cuantitativo. Con el se determinaron niveles de remoción de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST haciendo uso de bacterias nativas de suero de queso.

Para dar cumplimiento al alcance del proyecto se utilizaron aislados debidamente codificados, caracterizados y conservados de los efluentes de la empresa objeto de estudio, estos fueron entregados por los investigadores del proyecto Plan de Manejo Integral de Lacto-suero del Centro para la Formación Cafetera del SENA Regional Caldas quienes realizaron la exploración en el sector industrial lácteo, para la obtención de dichas bacterias.

## **6.1 Determinación de las características fisicoquímicas de los vertimientos de lacto-suero con el fin de establecer la carga contaminante inicial.**

### **6.1.1 Toma de muestras**

Las muestras de lacto-suero se obtuvieron de una empresa láctea ubicada en la ciudad de Manizales – Caldas. Se realizó un muestreo puntual el cual consistió en tomar una muestra en un lugar representativo, en un determinado momento. La muestra recogida se transportó en recipientes de plástico (PVC), de igual forma se mantuvo en refrigeración a 4°C hasta llevarse al Laboratorio de Ciencias Básicas para ser analizada. (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1992).

### **6.1.2 Caracterización fisicoquímica.**

Los parámetros físico-químicos más comúnmente utilizados para caracterizar efluentes lácteos son: SST (sólidos totales en suspensión), Nitrógeno Kjeldahl NTK, Ortofosfatos, DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, conductividad y temperatura; los últimos parámetros se miden in situ. Lo anterior se realizó de acuerdo a lo establecido en la resolución 631 del 2015, del decreto 3930 de 2010 (Blanco, 1998) y (Minambiente, 2015, p. 15).

## **6.2 Identificación de los niveles de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en los vertimientos de lacto-suero a partir del tratamiento biológico a nivel de laboratorio.**

### **6.2.1 Cinética de crecimiento de los aislados objetos de estudio.**

Se realizaron curvas de crecimiento de cada uno de los aislados objeto de estudio en medio sintético (Caldo Nutritivo), y en simultáneo se registró la variable pH durante el procedimiento, con el fin de conocer el comportamiento de cada una de las bacterias en este tipo de efluente y determinar el punto aproximado de la depuración de la materia orgánica al alcanzar su fase estacionaria (Madigan, Marinko & Parker, 2003).

Para esto se aplicó el método turbidimétrico por medio del uso del espectrofotómetro UV – visible Shimadzu 1603 a una longitud de onda de 600 nm (Cuesta & Villota, 2015).

### **6.2.2 Montaje de tratamiento biológico aerobio de lacto-suero**

Se realizó un pre-tratamiento al lacto-suero a través de una trampa de grasas durante 18 horas con el fin de facilitar el tratamiento secundario (Naji, 2011); posterior a esto se tomó una muestra de 300 mL de lacto-suero sin grasa y se inoculó con *Pseudomonas putida*, otra muestra con *Pseudomonas mendocina*, otra con *Hafnia alvei*, una cuarta muestra con la mezcla de las tres bacterias con el fin de estudiar su eficiencia en la remoción de S.ST, DBO<sub>5</sub> y DQO; y una última muestra Control de lacto-suero, que permitió determinar el rendimiento en remoción con y sin inoculación de las bacterias objeto de estudio. Estas muestras se colocaron en un beaker de 600 mL y fueron aireadas por burbujeo durante un período comprendido entre 48 y 55 horas a temperatura ambiente con monitoreo cada 30 - 60 minutos de la variable pH (Kabbout et al., 2011). Este montaje se realizó por triplicado bajo las mismas condiciones en momentos diferentes.

### **6.3 Evaluación de la eficiencia de remoción obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio en los vertimientos de lacto-suero.**

El proyecto se desarrolló utilizando el lacto-suero de una empresa láctea de la región y aislados de estos efluentes obtenidos de otro proyecto de investigación. Lo anterior se estudió con el fin de evaluar los niveles de remoción de carga orgánica, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: pH mediante el equipo portátil HANNA HI 8424, S.S.T por método gravimétrico, DBO<sub>5</sub> mediante el equipo OXI700 BOD SYSTEM y DQO con el equipo de

digestión y el espectrofotómetro de luz UV Nanocolor (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1992).

## **7. Resultados y discusión**

### **7.1 Determinación de las características fisicoquímicas de los vertimientos de lacto-suero con el fin de establecer la carga contaminante inicial.**

Para realizar la caracterización fisicoquímica inicial, fue necesario partir de una serie de muestreos puntuales, para su posterior análisis en el Laboratorio de Ciencias Básicas del SENA Regional Caldas.

#### **7.1.1 Toma de muestras.**

Se realizó un muestreo puntual en tres momentos diferentes debido a que la composición de la muestra es relativamente constante en un tiempo prolongado (IDEAM, 2009). Las muestras fueron tomadas durante los meses de Marzo, Abril y Mayo de 2015. Los valores obtenidos en la medición de los parámetros *in situ* se pueden observar en la tabla 1.

Los resultados de la tabla 1 reflejan el comportamiento de las muestras del lacto-suero tomadas en días diferentes (Ensayo 1, 2 y 3), donde se observa que el pH se encuentra entre 5,59 y 5,93 que son valores característicos de un suero dulce, el cual proviene de un queso fresco, elaborado con leche pasteurizada y sin adición de cultivos lácticos, Valencia, 2008 encontró valores promedio de 5,8 y Kabbout et, al., 2011 encontró valores de 5,99 que son datos muy similares a los obtenidos en esta caracterización.



**Tabla 1 Resultados de los parámetros in situ de tres muestreos puntuales realizados en la empresa láctea objeto de estudio.**

ENSAYO	pH	TEMPERATURA °C	CONDUCTIVIDAD μ/cm	OXÍGENO DISUELTO mg/L
1	5,93	13	5,96	1,95
2	5,59	18	5,85	2,58
3	5,75	15,3	5,91	1,23

### 7.1.2 Análisis fisicoquímico.

Los resultados observados en la tabla 2 realizados en tres oportunidades diferentes (Ensayo 1, 2 y 3), muestran la caracterización inicial del lacto-suero; Kabbout et., al, 2011 reportan valores similares a los obtenidos en esta investigación.

De acuerdo a lo obtenido tenemos que estos valores sobrepasan lo establecido en la resolución 0631 de 2015, en donde la DQO debe estar en 450 mg/L O<sub>2</sub>, la DBO<sub>5</sub> en 250 mg/L O<sub>2</sub> y los Sólidos Suspendidos Totales en 150 mg/L, lo que indica que este efluente debe ser sometido a un sistema de tratamiento de agua residual industrial. En cuanto a los Sólidos Sedimentables, la normatividad establece un valor máximo de 2 mL/L y el valor arrojado se encuentra entre 1,6 y 1,8 mL/L, lo que quiere decir, que este se encuentra dentro del rango establecido por la legislación ambiental.

La anterior caracterización se realizó con el fin de estudiar el comportamiento del efluente a tratar y de esta forma tener un indicio en el diseño del sistema de tratamiento. De

acuerdo a los resultados obtenidos en DBO<sub>5</sub> y DQO, se tiene que dicha relación está en un rango comprendido entre 1,83 y 2,32, la cual es inferior a 3 lo que quiere decir que este tipo de efluente se puede considerar biodegradable y se pueden utilizar tratamientos biológicos; lo anterior según la guía ambiental “Formulación de Planes de Pre tratamiento de Efluentes Industriales” (Minambiente, 2002), razón por la cual se optó por evaluar un tratamiento biológico aerobio.

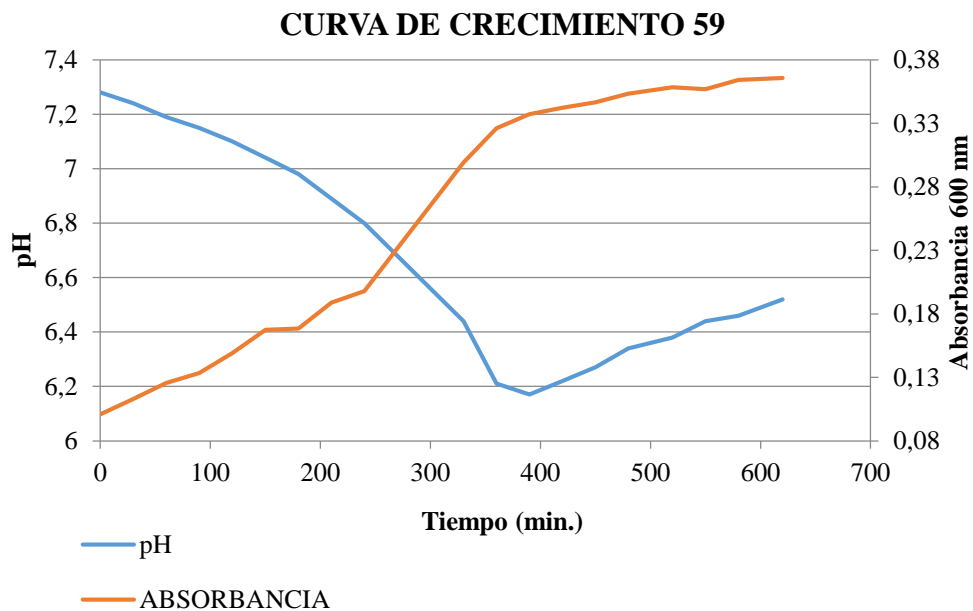
**Tabla 2 Resultados de la caracterización fisicoquímica inicial del lacto-suero crudo.**

ENSAYO	SSED ml/L	SST mg/L	NT mg/L	ORTOFOSFATOS mg/L	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	RELACIÓN DQO/DBO <sub>5</sub>
1	1,8	2.908	89,42	23	35.640	82.700	2,32
2	1,6	2.876	103,94	22	43.900	81.300	1,85
3	1,9	2.508	89,42	23	45.060	82.500	1,83
<b>Kabbout et., al 2011</b>	-	2.850	440	-	30.000 - 50.000	60.000	

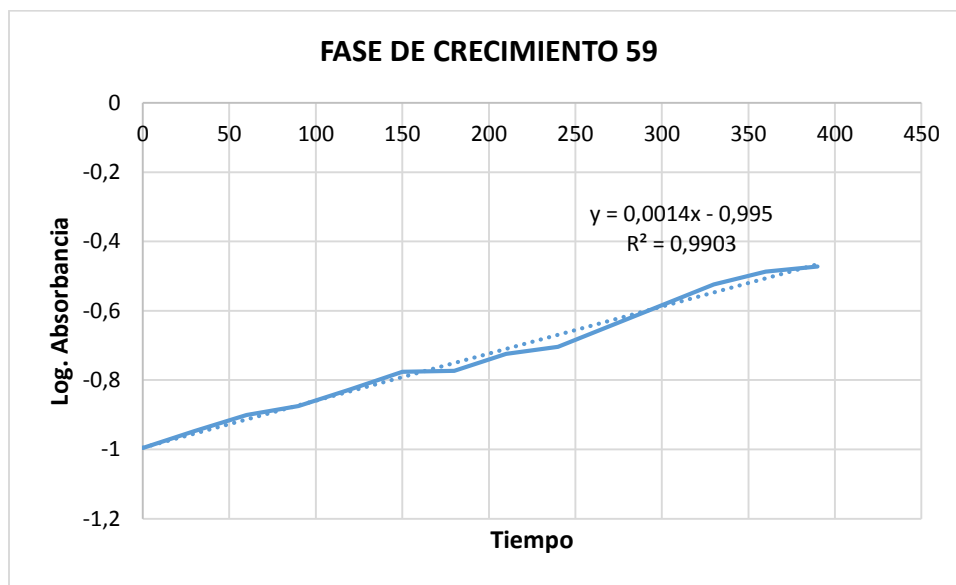
## 7.2 Identificación de los niveles de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en los vertimientos de lacto-suero a partir del tratamiento biológico a nivel de laboratorio.

**Tabla 3 Codificación de los aislados objeto de estudio.**

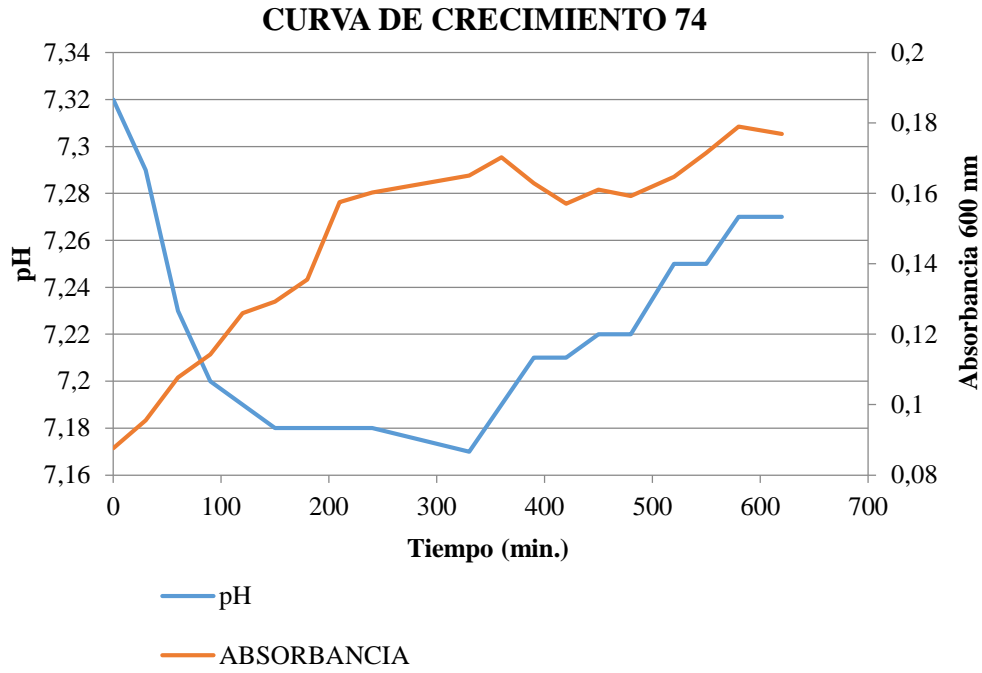
No.	CÓDIGO	NOMBRE
1	59	<i>Pseudomona putida</i>
2	74	<i>Pseudomona mendocina</i>
3	006	<i>Hafnia alvei</i>



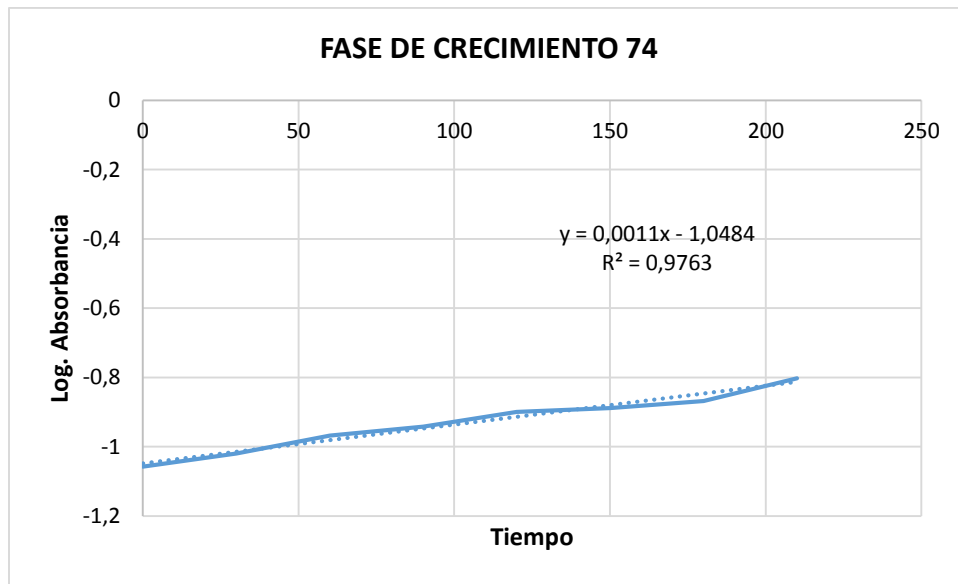
**Figura 2. Cinética de crecimiento y análisis de pH del aislado 59 (*Pseudomona putida*).**



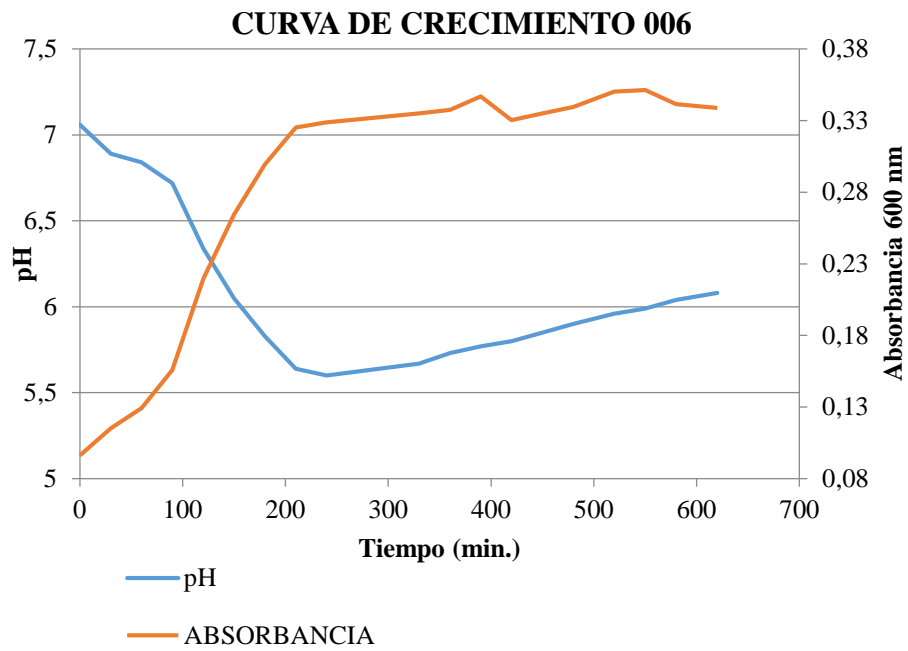
**Figura 3. Índice de correlación Absorbancia Vs. Tiempo del aislado 59 (*Pseudomona putida*).**



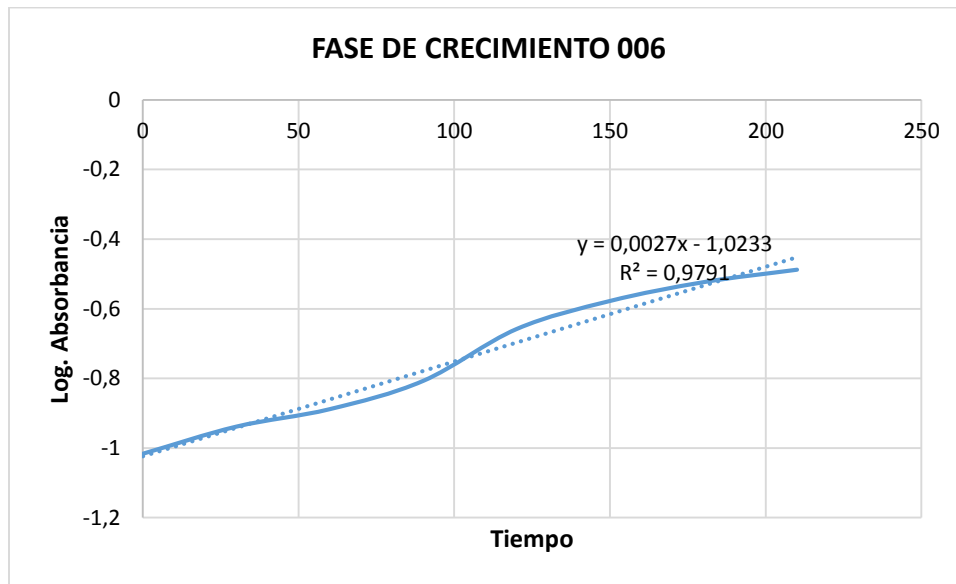
**Figura 4.** Cinética de crecimiento y análisis de pH del aislado 74 (*Pseudomona mendocina*).



**Figura 5.** Índice de correlación Absorbancia Vs. Tiempo del aislado 74 (*Pseudomona mendocina*).

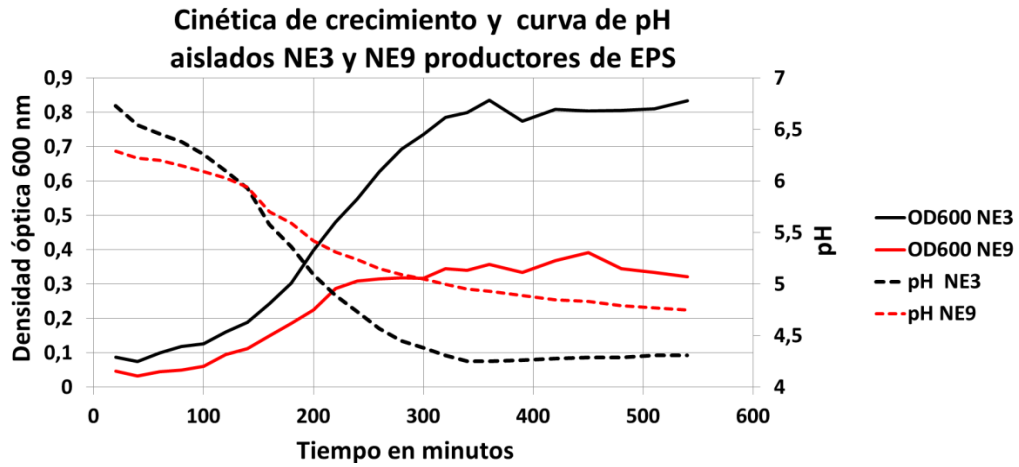


**Figura 6.** Cinética de crecimiento y análisis de pH del aislado 006 (*Hafnia alvei*).



**Figura 7.** Índice de correlación Absorbancia Vs. Tiempo del aislado 006 (*Hafnia alvei*).

Las figuras 2, 4 y 6 muestran las cinéticas de crecimiento y el comportamiento del pH de las tres cepas estudiadas, las cuales presentaron una tendencia similar, semejantes a las cinéticas teóricas reportadas, desde la fase de latencia hasta la fase estacionaria (Koneman, et al., 2006). En cuanto al pH, al ser uno de los factores ambientales importantes en el crecimiento microbiano, tenemos que este fue una clave fundamental para determinar el punto final aproximado de la degradación de la materia orgánica, y por ende el fin del proceso de tratamiento al agotarse la fuente de alimentación de los microorganismos cuando alcanzaron su fase estacionaria (Dos Santos, 2007). De acuerdo a lo anterior tenemos que el pH inicial fue ajustado entre 7,06 y 7,28, no obstante, se observó que transcurridos 30 minutos el pH empezó a descender y la absorbancia a aumentar a medida que las bacterias iniciaban su fase exponencial. Posterior a esto, en el momento en que se obtuvieron los valores mínimos de pH 4,52 y 5,82 aproximadamente, los microorganismos llegaron a su fase estacionaria, momento en el que posiblemente no contaban con nutrientes esenciales o había acumulación de desechos para continuar con la depuración de la materia orgánica (González, 2012), y fue allí donde se halló el punto aproximado de finalización del tratamiento, estos resultados son concernientes a los obtenidos por Cuesta, 2014, figura 8. En cuanto al índice de correlación observado en las figuras 3, 5 y 7 vemos que este mostró una tendencia lineal en la gráfica semi logarítmica entre absorbancia vs tiempo, con un  $R^2$  mayor de 0,97; Posada y Mosquera, 2007, presentan un índice de correlación en sus cinéticas de crecimiento cerca del 0,94.

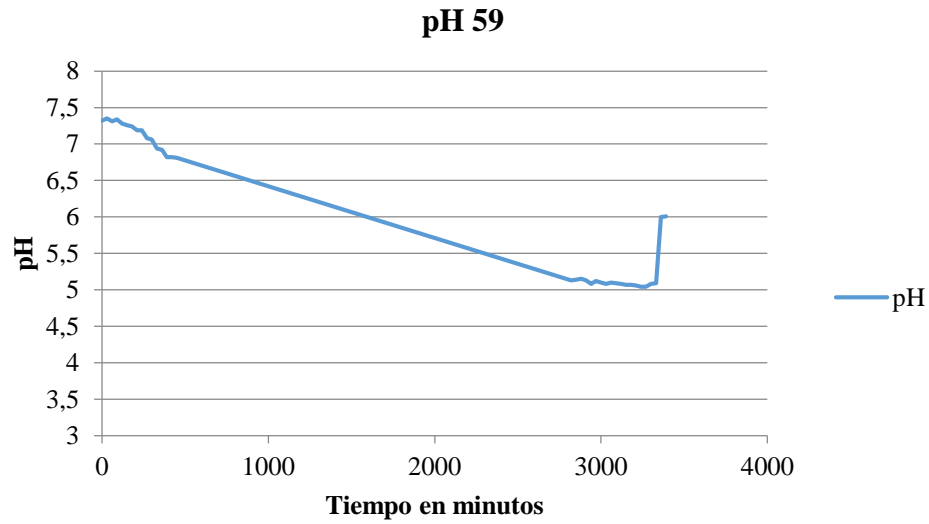


**Figura 8.** Cinética de crecimiento y análisis de pH de los aislados NE3 y NE9 nativos de una empresa de lácteos y del maíz (Cuesta, 2014).

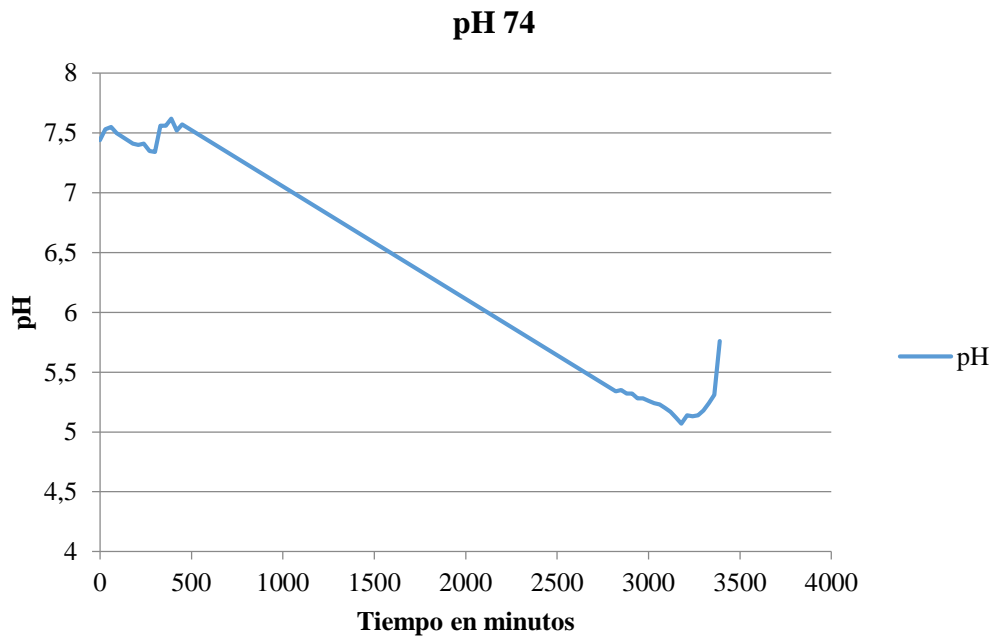
**7.3 Evaluación de la eficiencia de remoción obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio en los vertimientos de lacto-suero.**



**Figura 9.** Montaje de tratamiento biológico aerobio a escala de laboratorio.

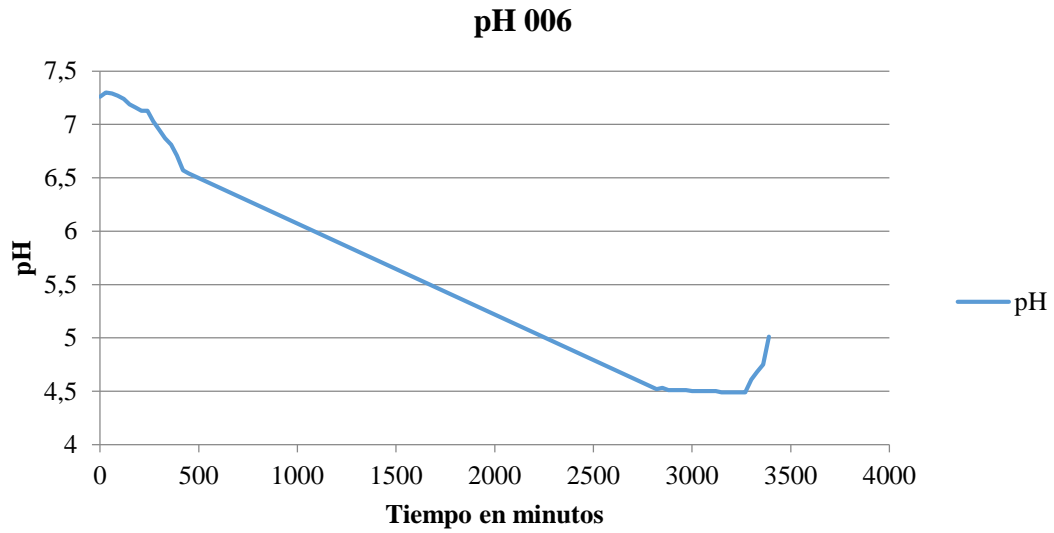


**Figura 10. Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el aislado 59 (*Pseudomonas putida*).**

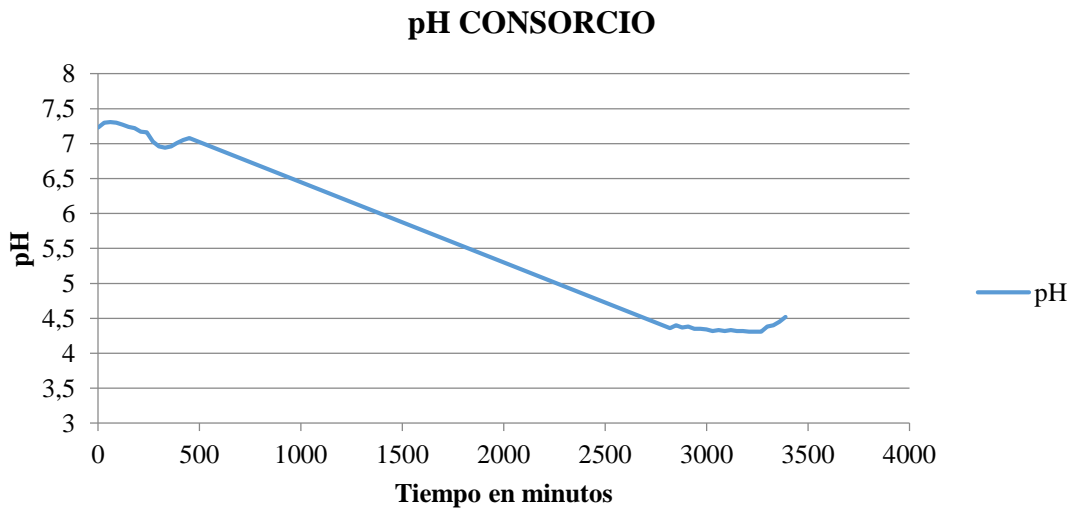


**Figura 11. Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el aislado 74 (*Pseudomonas mendocina*).**

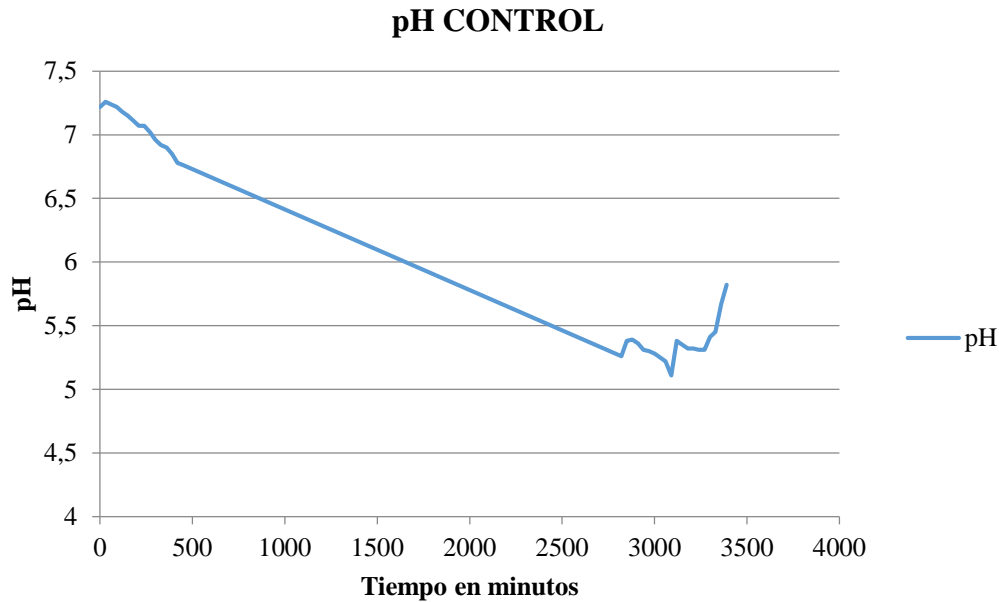




**Figura 12. Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el aislado 006 (*Hafnia alvei*).**



**Figura 13. Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el Consorcio (*Pseudomonas putida*, *Pseudomonas mendocina* y *Hafnia alvei*).**



**Figura 14. Comportamiento del pH en lacto-suero al ser inoculado con el Control.**

En las figuras 10, 11, 12, 13 y 14 se puede observar el comportamiento del pH de cada uno de los aislados, el consorcio bacteriano y el control en el efluente objeto de estudio. Para el inicio del tratamiento, el pH fue ajustado entre 7,23 y 7,44, en ese momento cada muestra fue inoculada con cada uno de los aislados, tal y como se describió en la metodología. A partir de ahí el pH presentó una baja constante durante los siguientes 3.300 minutos; de acuerdo con García, 2015, esto debido posiblemente al metabolismo de cada microorganismo, la posible liberación de algunos ácidos orgánicos, la mineralización de la materia orgánica, la producción de dióxido de carbono entre otros aspectos. A partir del minuto 3.360 el pH comenzó a ascender paulatinamente, lo que indicó la finalización del proceso de degradación de la materia orgánica. Por último se dejaron en reposo 12 horas para llevar a cabo el proceso de sedimentación. Los comportamientos del pH en los ensayos realizados presentaron una tendencia similar a lo reportado por Cuesta, 2014 apreciados en la figura 15.



**Figura 15.** Comportamiento del pH en afluente de una empresa de alimentos lácteos y del maíz al inocular el aislado NP2 (Cuesta, 2014).

#### **7.4 Evaluación de los niveles de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST posterior al tratamiento biológico**

Las tablas 4, 5 y 6 contienen los resultados de los parámetros analizados en momentos distintos (Ensayo 1, 2 y 3) luego del proceso de tratamiento a nivel de laboratorio. Cada aislado muestra un comportamiento diferente en cuanto a los parámetros analizados DQO, DBO<sub>5</sub> y S.S.T; en este caso los tres aislados dieron respuesta positiva en cada uno de los ensayos en comparación con lo arrojado en la entrada del sistema, aun así la cepa 59 mostró su dominancia con respecto a las demás con valores promedio de 48.721 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 21.100 mg/L de DQO y 678 de mg/L de S.S.T por ende tuvo una mayor eficiencia en este tipo

de efluente. También podemos observar el comportamiento del Consorcio Bacteriano con valores promedio de 49.245 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 39.433 mg/L de DQO y 773 de mg/L de S.S.T., lo que nos muestra una remoción aceptable a pesar de no hubo sinergia entre los microorganismos.

Por último tenemos que de acuerdo a lo obtenido en esta investigación y en comparación con los niveles máximos permitidos de la resolución 0631 del 2015 es claro que no se alcanzaron los valores máximos establecidos, lo que quiere decir que se debe mejorar el sistema de tratamiento (Minambiente, 2015).

**Tabla 4 Resultados de la caracterización fisicoquímica final del lacto-suero posterior al tratamiento biológico (DBO<sub>5</sub>).**

ENSAYO	DBO <sub>5</sub> mg/L						RES. 0631/2015
	ENTRADA	SALIDA					
		006	59	74	Consorcio	Control	
1	193.067	5.365	6.165	9.985	6.235	79.760	250
2	191.700	70.200	43.800	73.100	75.300	124.300	
3	192.233	69.800	75.600	72.300	66.200	132.000	

**Tabla 5 Resultados de la caracterización fisicoquímica final del lacto-suero posterior al tratamiento biológico (DQO).**

ENSAYO	DQO mg/L						RES. 0631/2015
	ENTRADA	SALIDA					
		006	59	74	Consortio	Control	
1	84.467	34.500	23.400	42.100	43.700	57.600	450
2	47.467	20.400	17.600	24.500	31.400	42.500	
3	57.833	26.900	22.300	27.600	43.200	52.100	

**Tabla 6 Resultados de la caracterización fisicoquímica final del lacto-suero posterior al tratamiento biológico (S.S.T).**

ENSAYO	S.S.T. mg/L						RES. 0631/2015
	ENTRADA	SALIDA					
		6	59	74	Consortio	Control	
1	1.567	715	757	596	669	1.185	150
2	632	268	268	354	344	544	
3	2.719	1.256	1.010	1.560	1.308	2.236	

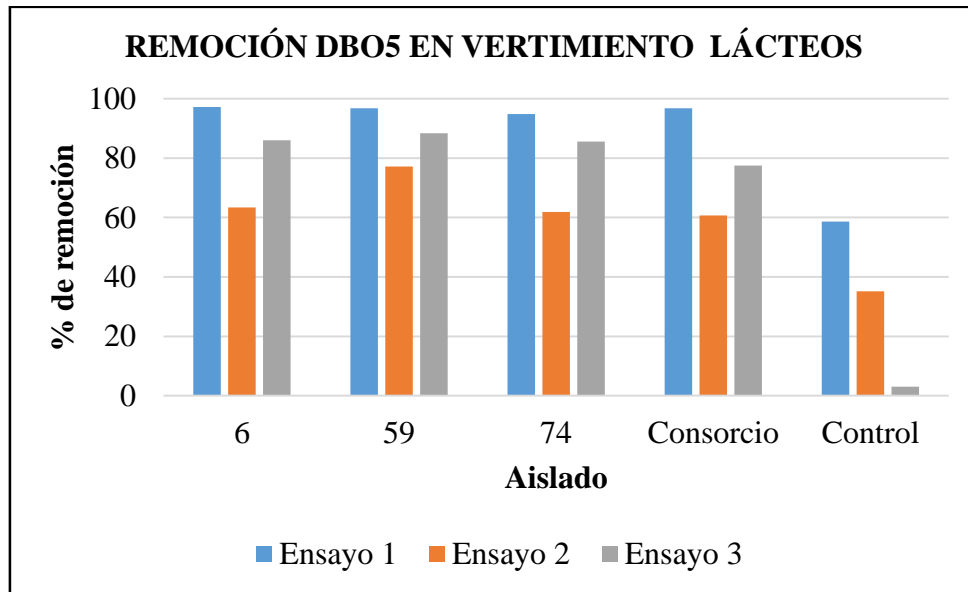
#### **7.4.1 Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> posterior al tratamiento biológico.**

Los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> presentados en la tabla 7 y en la figura 16, muestran que el aislado 59 presenta una alta remoción con respecto a los demás, con una eficiencia entre 88,79% y 96,80%.

Así mismo vemos que los demás aislados presentan una eficiencia de remoción favorable, pero en el consorcio no se detectó mucha sinergia entre los aislados en el momento de la depuración de la materia orgánica; en cuanto al control que no tiene ningún inóculo, vemos el papel importante y el valor agregado de los aislados inoculados en los otros reactores para realizar la depuración de la materia orgánica.

**Tabla 7 Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> en lacto-suero.**

ENSAYO	% REMOCIÓN DBO <sub>5</sub>				
	006	59	74	Consortio	Control
1	97,22	96,80	94,82	96,77	58,68
2	63,38	77,15	61,86	60,71	35,15
3	86,00	88,39	85,64	77,52	2,98



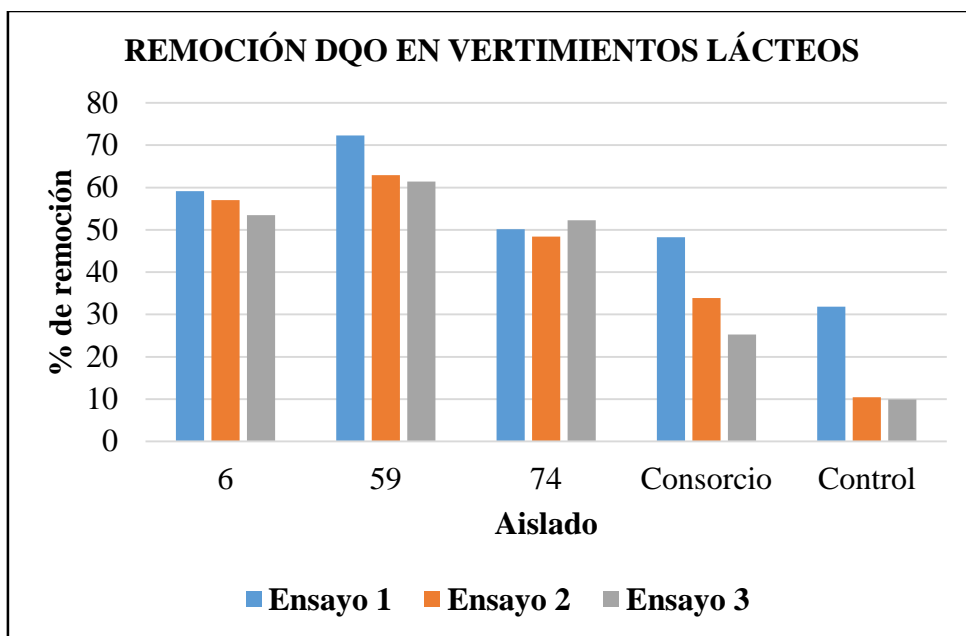
**Figura 16. Comparativo en remoción DBO<sub>5</sub> en vertimientos lácteos con cada aislado.**

#### 7.4.2 Porcentaje de remoción de DQO posterior al tratamiento biológico.

En la tabla 8 y en la figura 17 se pueden observar los porcentajes de remoción de DQO luego de haber realizado ensayos en tres oportunidades diferentes, allí se puede apreciar la eficiencia del aislado 59 con una remoción del 61,44% al 72,29%, seguido del aislado 006 con una eficiencia del 53,48% al 59,15%. De igual forma vemos que el consorcio bacteriano no muestra una remoción significativa, posiblemente debido a que no hubo sinergia entre las cepas estudiadas; con respecto al control, tenemos que no fue eficiente en cuanto a remoción, lo que indica que la inoculación de microorganismos favorece en mayor medida el proceso de depuración.

**Tabla 8 Porcentaje de remoción de DQO en lacto-suero.**

ENSAYO	% REMOCIÓN DQO				
	006	59	74	Consortio	Control
1	59,15	72,29	50,15	48,26	31,80
2	57,02	62,92	48,38	33,84	10,46
3	53,48	61,44	52,27	25,30	9,91



**Figura 17. Comparativo en remoción DQO en vertimientos lácteos con cada aislado.**

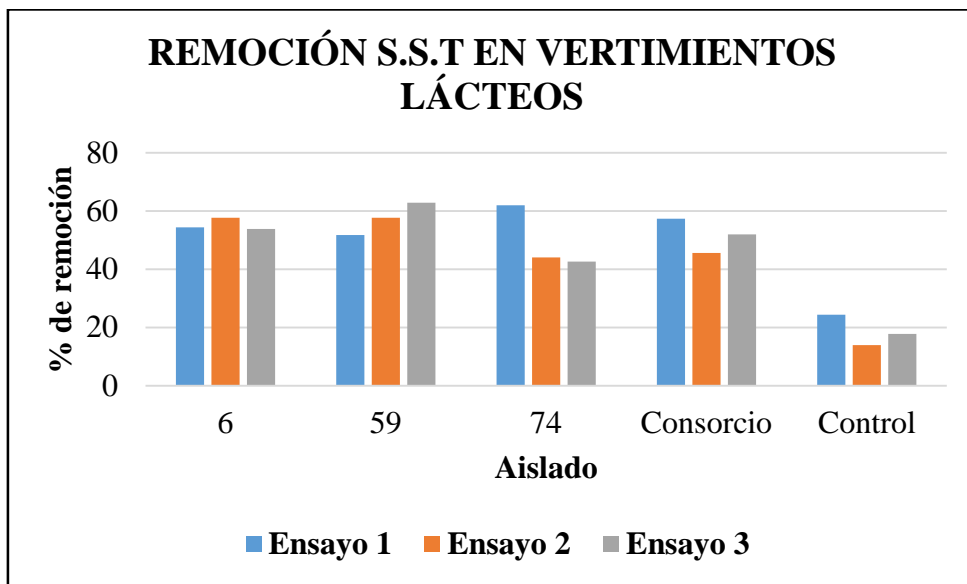
#### **7.4.3 Porcentaje de remoción de S.S.T posterior al tratamiento biológico.**

La tabla 9 y la figura 18 muestran los porcentajes de remoción de los Sólidos Suspendidos Totales, allí también se puede destacar la eficiencia del aislado 59 como en los anteriores parámetros analizados con porcentajes entre 51,68% y 62,84%. Cabe resaltar que el consorcio presentó una eficiencia favorable con porcentajes de remoción entre 45,56% y 57,29%, a pesar de que en los anteriores parámetros no hubo sinergia entre las bacterias para desempeñarse en el mismo medio. Es importante destacar que en los tres ensayos realizados, los aislados no fueron tan eficientes en la remoción de S.S.T, por lo que se requiere un fortalecimiento en el sistema, ya que notablemente fue el parámetro que mayor dificultad causó en cuanto a remoción.



**Tabla 9 Porcentaje de remoción de S.S.T en lacto-suero.**

ENSAYO	% REMOCIÓN S.S.T				
	006	59	74	Consortio	Control
1	54,36	51,68	61,95	57,29	24,36
2	57,59	57,59	43,98	45,56	13,92
3	53,80	62,84	42,61	51,88	17,75



**Figura 18. Comparativo en remoción S.S.T en vertimientos lácteos con cada aislado.**

#### 7.4.4 Porcentaje de remoción promedio DBO<sub>5</sub>, DQO y S.S.T

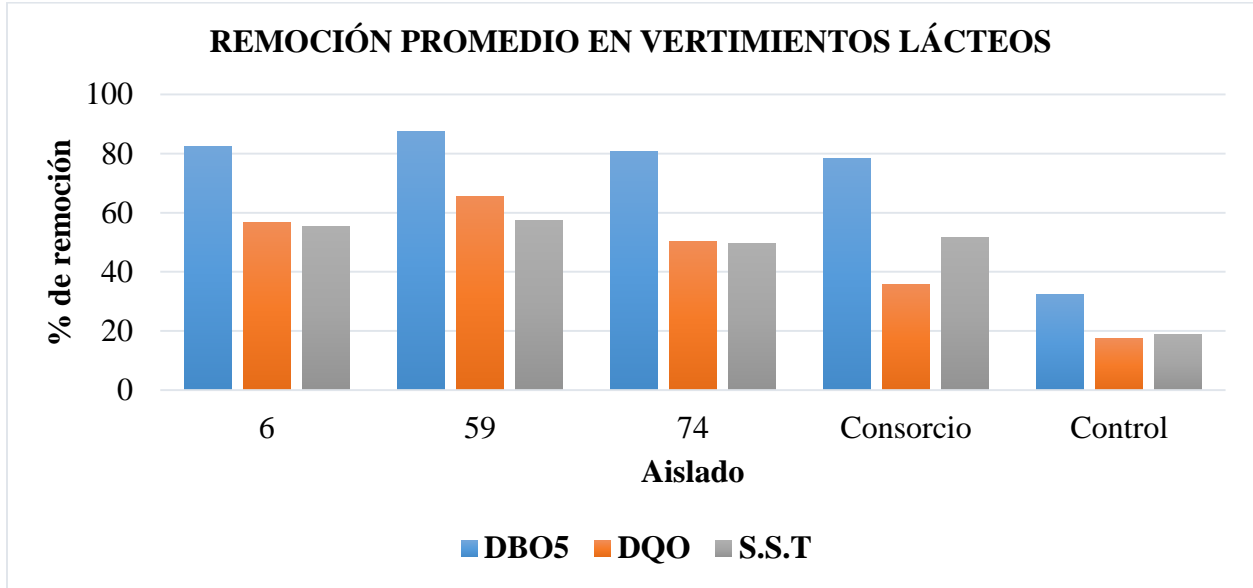
La tabla 10 y la figura 19 muestran un comparativo promedio entre los porcentajes de remoción con respecto a cada aislado. De acuerdo a lo analizado en dicha tabla y figura, podemos decir que las cepas que mostraron mayor eficiencia con respecto a los valores iniciales obtenidos a partir de la caracterización fisicoquímica del lacto-suero fueron:

*Pseudomona putida* (59) con un 87.45%, en DBO<sub>5</sub>, 65.55% en DQO y 57.37% en S.S.T, y *Hafnia alvei* (006) con un 82,20% en DBO<sub>5</sub>, 56,55 en DQO y 55,25% en S.S.T. Kabbout, 2011 reporta un estudio similar al tratamiento biológico estudiado en esta investigación, pero utilizando *Pseudomona fluorescens* y *Bacillus spp.*, obteniendo el 90% de remoción en DQO con *Pseudomona fluorescens*, y un 54% con *Bacillus spp.* en el mismo parámetro. Lo anterior nos indica *Pseudomona putida*. es una buena herramienta para la biorremediación, además se ha convertido en un organismo modelo para estudios de biodegradación por su capacidad de adaptación a diversos ambientes y su versatilidad metabólica (Escapa, 2012).

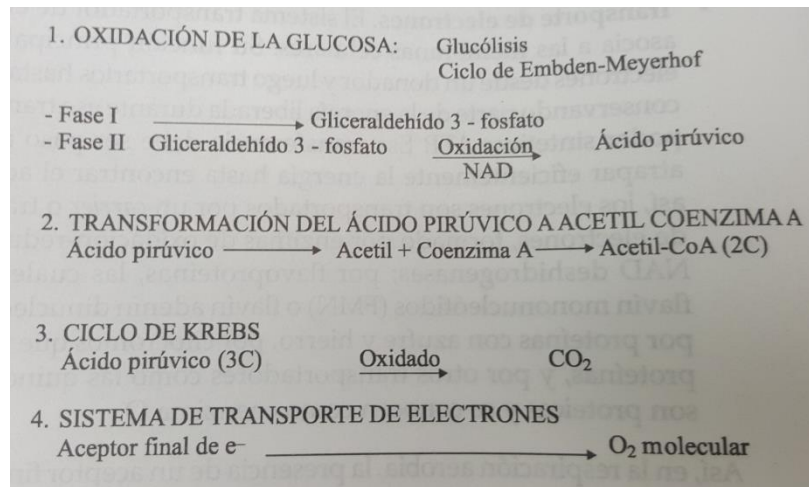
Según González, 2012 los microorganismos se clasifican metabólicamente dependiendo de la fuente de energía y de carbono, en este caso las bacterias evaluadas se clasifican en el grupo de las quimioheterótrofas o quimioorganótrofas, dado que toman como fuente de carbono compuestos orgánicos y obtienen la energía de la oxidación de la materia orgánica. El mecanismo básico para la obtención de energía en las bacterias estudiadas es la respiración aerobia, en donde un compuesto se oxida utilizando oxígeno molecular como aceptor final de electrones. En la respiración aerobia el ácido pirúvico formado en la glucólisis ingresa al ciclo de Krebs, aquí el ácido pirúvico es oxidado completamente hasta CO<sub>2</sub>.

**Tabla 10 Porcentaje de remoción promedio en lacto-suero.**

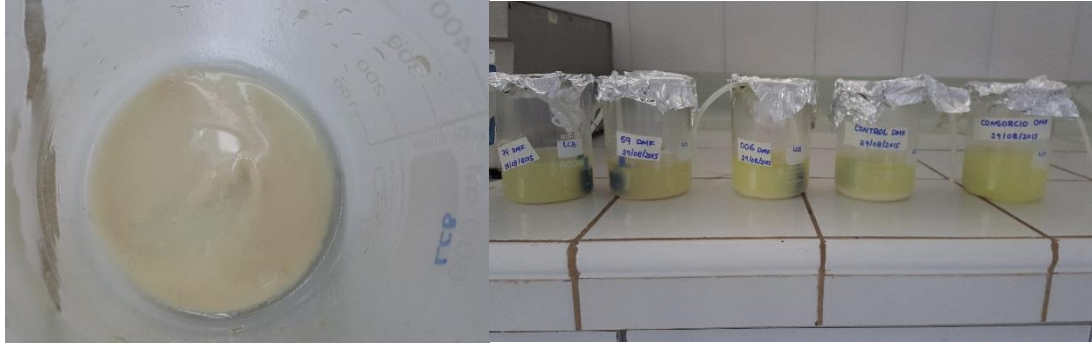
ENSAYO	% REMOCIÓN PROMEDIO				
	6	59	74	Consorcio	Control
DBO <sub>5</sub>	82,20	87,45	80,77	78,33	32,27
DQO	56,55	65,55	50,27	35,80	17,39
S.S.T	55,25	57,37	49,52	51,58	18,67



**Figura 19.** Comparativo entre remociones con respecto a cada asilado.



**Figura 20.** Resumen de respiración aeróbica. (González, 2012).



**Figura 21. Remoción de la carga orgánica del Lacto-suero.**

## 8. Conclusiones y recomendaciones

### 8.1 Conclusiones

Los efluentes de las industrias lácteas están compuestos principalmente de materia orgánica y biodegradable, que en altas concentraciones pueden alterar los ecosistemas acuáticos y terrestres. De ahí la importancia de emplear un tratamiento adecuado para este efluente antes de ser vertido, de esta forma reducir la contaminación y los impactos ambientales.

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica inicial del lacto-suero, y la relación DQO/DBO<sub>5</sub>, para nuestro caso 2, permitió determinar que este efluente es biodegradable, y se pueden aplicar tratamientos biológicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, *Pseudomona putida*, fue la cepa que mayor eficiencia presentó, con valores de 87,45% DBO<sub>5</sub>, 65,55% DQO y 57,37% S.S.T. *Hafnia alvei* también presentó niveles adecuados de remoción, con valores de 82,20% para DBO<sub>5</sub>, 56,55% para DQO y 55,25% para S.S.T. En cuanto a la cepa *Pseudomona mendocina*, a pesar de haber sido menos eficiente en la remoción, presentó resultados favorables en DBO<sub>5</sub> con un 80,77%, pero no tan favorables para DQO con un 50,27% y para S.S.T con un 49,52%.

El consorcio bacteriano presentó resultados aceptables para DBO<sub>5</sub> 78,33% y para S.S.T 51,58%, pero no en cuanto a la remoción de DQO 35,80%. En cuanto al comportamiento del Control durante todos los ensayos podemos decir que no fue muy

eficiente, presentando valores de 32,27% para DBO<sub>5</sub>, 17,39% para DQO y 18,67% para S.S.T, lo que nos indica que las cepas estudiadas tienen un potencial para ser usadas en el tratamiento de este tipo de efluentes.

Por último podemos concluir que a pesar del buen desempeño de las bacterias en el sistema de tratamiento y de los resultados obtenidos, éstas no lograron una remoción de la materia orgánica tal, que cumpliera con los niveles máximos permitidos establecidos por la actual resolución ambiental, por lo tanto se debe mejorar el sistema con una o varias unidades de tratamiento adicionales.

## **8.2 Recomendaciones**

El tratamiento biológico estudiado presentó buen rendimiento en la remoción de la materia orgánica, pero es necesario fortalecerlo y mejorarlo mediante la optimización de las condiciones del crecimiento de las bacterias (temperatura, oxígeno, pH) o mediante el uso de otros microorganismos como hongos, bacterias granulares o quizás algas, ya que de acuerdo a la literatura son eficientes en cuanto a la reducción de los parámetros estudiados en este efluente.

También, la articulación de un tratamiento físico-químico a uno biológico, por ejemplo, la coagulación-floculación, puede aumentar la eficiencia del sistema y de esta forma cumplir con lo exigido en la actual legislación ambiental y contribuir a la reducción de la contaminación del medio ambiente.

Se recomienda en futuras investigaciones, estudiar el metabolismo de las bacterias *Pseudomona putida*, *Pseudomona mendocina* y *Hafnia alvei* en la degradación de lacto-suero, subproducto de las industrias lácteas.

La presente investigación puede ser punto de partida para dar respuesta a la necesidad que presenta el sector lácteo de la región para el manejo adecuado de sus vertimientos, a través de tratamientos biológicos.

## 9. Referencias Bibliográficas

American Public Health Association, American Water Works Association & Water Pollution Control Federation. (1992). Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Díaz de Santos S.A.

Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Recuperado el 19 de Septiembre de 2015 de:

<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>

Andino, F., & Castillo, Y. (2010). Curso Microbiología de los alimentos: Un enfoque práctico para la inocuidad alimentaria. Estelí.

Arango, A., & Ruíz, L. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + limpia* 2(2), 24-30.



Argun, M., Elgün, A., Argun, M., & Karataş, M. (2007). Utilization of whey for waste minimization of white cheese industry: a case study. *J. Int. Environmental Application & Science*, 2(1&2) 1- 4.

Arnáiz, C., Isac, L., & Lebrato J. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. Recuperado el 30 de Octubre de 2015 de: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/edar.pdf>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia ANDI & Banco Interamericano de Desarrollo BID. (1997) Manual de Caracterización de Aguas Residuales. Medellín, Colombia. Ideas gráficas LTDA.

Benavidez, J., Quintero, G., Guevara, A., Jaimes, D., Gutiérrez, S., & Miranda, G. (2006). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4(5), 1-116.

Brenner, D., Krieg, N., & Staley, J. (2009). *Bergey's Manual Of Systematic Bacteriology*. Second Edition. Volume Two. The *Proteobacteria* Part B. Editorial Board.

Carrillo, L., & Gómez, M. (2008). *Recopilación, evaluación y análisis de la información para el programa de control de vertimientos industriales con descarga al alcantarillado para el municipio de Bucaramanga*. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.

Carvalho, F., Prazeres, A., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment*, 445-446, 385–396.

Castillo, F., Roldán M., Blasco R., Huertas M., Caballero F., Moreno C., & Martínez M. 2005. *Biología Ambiental*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015 de:  
<https://books.google.com.co/books?id=19ffPAm3E3kC&pg=PA239&dq=bacterias+degradadoras&hl=es-419&sa=X&ved=0CCYQ6AEwAmoVChMIxvrjs6LNyAIVgiceCh01TwVb#v=onepage&q=bacterias%20degradadoras&f=false>

Cortón, E., Viale, A. 2006. Solucionando grandes problemas ambientales con la ayuda de pequeños amigos: las técnicas de biorremediación. *Ecosistemas*. 2006/3. Recuperado el 29 de Agosto de 2015 de: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biorremediacion.pdf>

Cuesta, F. (2014). Evaluación de los niveles de remoción en demanda química y bioquímica de oxígeno, y sólidos suspendidos totales de efluentes industriales con bacterias productoras de polihidroxicanoatos y exopolisacáridos a escala de laboratorio en empresas del sector de alimentos de la ciudad de Manizales. Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.

Cuesta, F., & Villota, G. (2015). Práctica de laboratorio no 1 cinética de crecimiento. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Manizales.

Dos Santos, A. (2007). Estudio del comportamiento cinético de los microorganismos de interés en seguridad alimentaria con modelos matemáticos. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.

Ebrahimi, A., Najafpour, G., Mohammadi, M., & Hashemiyeh, B. (2010). Biological treatment of whey in an uasff bioreactor following a three-stage rbc. doi: 10.2298/CICEQ100315025E

Escapa, I. (2012). Estudio del metabolismo de polihidroxicanoatos en *Pseudomonas putida*: implicaciones fisiológicas y aplicaciones en el desarrollo de bioplásticos funcionalizados. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

Félez, M. (2009). El agua. Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. (pp. 13-184). Recuperado el 01 de Septiembre de 2015 de:  
[http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03\\_Mem%20ria.%20pdf?sequence=4](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Mem%20ria.%20pdf?sequence=4)

García, A. (2015). Estudio del comportamiento del tratamiento anaerobio de fangos ante modificaciones del pH. Recuperado el 03 de Noviembre de 2015 de:  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50162/PFC%20-%20Garc%C3%ADa-Caro%20Andreu,%20L..pdf?sequence=1>

García, G., López, M., & Quintero, R. (2004). *Bioteología alimentaria*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015 de:  
<https://books.google.com.co/books?id=2ctdvBnTa18C&printsec=frontcover&dq=biotecnologia+alimentaria&hl=es-419&sa=X&ved=0CCMQ6AEwAGoVChMIjcDU6fftyAIVCjomCh02lQrJ#v=onepage&q=biotecnologia%20alimentaria&f=false>

González, G. (2012). *Microbiología del Agua Conceptos y Aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Guerrero, W., Castilla, P., Cárdenas, K., Gómez, C., & Castro, J. (2012). Degradación Anaerobia de Dos Tipos de Lactosuero en Reactores UASB. *Tecnología Química* 32, 99-106.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2009). Procedimiento para el muestreo de aguas y sedimentos para determinación de metales. Recuperado el 25 de Octubre de 2015 de:

[http://www.ambientalex.info/guias/IDEAM\\_PROTOCOLOS\\_MSFMETALES\\_PESADOS\\_EN\\_AGUAS\\_Y\\_SEDIMENTOS.pdf](http://www.ambientalex.info/guias/IDEAM_PROTOCOLOS_MSFMETALES_PESADOS_EN_AGUAS_Y_SEDIMENTOS.pdf)

Kabbout, R., Baroudi, M., Dabboussi, F., Halwani, J., & Taja, S. (2011). Characterization, Physicochemical and Biological Treatment of Sweet Whey (Major Pollutant in Dairy Effluent). *International Conference on Biology, Environment and Chemistry* 24, 123-127.

Koneman, E., Allen, S., Janda, W., Schreckenberger, P., Tenover, G. C., & Tenover, W. C. (2006). Diagnóstico Microbiológico. 6ª ed. Ed. Médica Panamericana SA. Buenos Aires.

Lafleur, C., Fortier, J., Kharoune, L., & Kharoune, M. (2008). Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles. Société de développement de l'industrie maricole inc. Université du Québec, Ecole de technologie supérieure

Leizaola, F. (2011). Suero y requesón, productos poco valorados por los pastores vascos. *Biblid* 34, 517-528.

Madigan, M., Marinko J. & Parker, J. (2003) *Biología de los microorganismos*. Madrid. Pearson.

Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (2002). Guía ambiental. Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales.

Recuperado el 29 de Agosto de 2015 de:

<https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/efluentesindustriales/Efluentes%20industriales%201.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (2002). Guía ambiental. Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales.

Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (2012) Po el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras disposiciones. Recuperado el 29 de Agosto de 2015 de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/decretos>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2010). Decreto 3930 – Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Recuperado el 29 de Agosto de 2015 de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/decretos>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Resolución 631 – Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Recuperado el 29 de Agosto de 2015 de: [http://camacol.co/sites/default/files/base\\_datos\\_juridico/RESOLUCION%20MINAMBIENTE%20NACIONAL%20631%20DE%202015.pdf](http://camacol.co/sites/default/files/base_datos_juridico/RESOLUCION%20MINAMBIENTE%20NACIONAL%20631%20DE%202015.pdf)

Montaño, N., Sandoval, A., Camargo, S., Sánchez, J. (2010). Los microorganismos, pequeños gigantes. *Elementos* 77, 15-23

Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

Naji, H. (2011). Traitement biologique de l'effluent laitier. Université Libanaise, Beirut, Líbano.

Nseir, W., Taha, H., Abid, A & Khateeb, J. (2011). Pseudomonas mendocina Sepsis in a Healthy Man. *Imaj* 13, 375-376.

Oktav, E., & Ozer, A. (2013). Pretreatment of Cheese Whey Effluent Using a Microfiltration Process: A Statistical Design Approach. *Ekoloji*, 22(88) 21-27.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Recuperado el 29 de Agosto de 2015 de:  
[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Pírez, M., & Mota, M. (2006). Temas de Bacteriología y Virología Médica: Morfología y Estructura Bacteriana. Segunda edición Corregida, Oficina del libro FEFMUR, Uruguay.



Portal Ambientum. (2002). Clasificación de Aguas Residuales Industriales. *Revista ambientum*.

Recuperado el 15 de octubre de 2014 de:

[http://www.ambientum.com/revista/2002\\_22/CLS FCCNG1\\_imprimir.htm](http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLS FCCNG1_imprimir.htm)

Posada, L., & Mosquera, S. (2007). Biodegradación de la materia orgánica presente en las Aguas residuales de una empresa de pinturas. Universidad EAFIT. Medellín Colombia.

Ramírez, M., & Valencia, E. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua.

*Elementos: Ciencia y Cultura, 16, 27-31.*

Romero, M. (2010). Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. *Ingeniería Primero, 17, 64-74.*

Tchobanoglous, G. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.*

*Volumen I.* Madrid. McGraw – Hill/Interamericana de España S.A.

Valencia, J. (2008). El suero de quesería y sus posibles aplicaciones. Parte 1/3. Mundo Lácteo y Cárnico. Recuperado el 01 de Noviembre de 2015 de:

[http://www.catedu.es/ctamagazine/images/stories/noticias/Mayo2008/mlc023\\_suero.pdf](http://www.catedu.es/ctamagazine/images/stories/noticias/Mayo2008/mlc023_suero.pdf)

Von, M. (2005). *Principios del tratamiento biológico de aguas residuales*. San Juan de Pasto:  
Universitaria.