

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
*Norte de la Universidad Peruana*  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL**



**TESIS:**

**“EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO EN LA REDUCCIÓN DE CARGA  
ORGÁNICA DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE CELENDÍN”**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. JULIO CÉSAR CHÁVEZ RODRIGO**

**ASESORES:**

**ING. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

**ING. AGUSTÍN EMERSON MEDINA CHAVEZ**

**CELENDÍN, ENERO DEL 2017**

**A:**

Anthony Samir, quien es mi motivo para seguir adelante y superarme cada día.

Cynthia Susana, que aunque ya no está con nosotros, aun nos ilumina con su alegría y nos da la fuerza necesaria para afrontar la vida día a día.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradecer a Dios por la oportunidad que nos brinda para superarnos y demostrar que con esfuerzo todo es posible.

A las personas que de una u otra manera estuvieron apoyándome durante éste proceso tan importante en mi vida profesional.

A mis asesores, por dedicar su tiempo para que éste trabajo ahora esté concluido de la mejor manera.

EL AUTOR

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pag.
Resumen .....	07
Abstract.....	08
Introducción.....	09
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>10</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1. Planeamiento del Problema .....	10
1.2. Formulación del Problema.....	11
1.3. Justificación de la Investigación.....	11
1.4. Delimitación de la Investigación .....	11
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>13</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1. Marco Teórico .....	13
2.1.1. Antecedentes.....	13
2.1.2. Sistema Tohá y Biofiltro.....	15
2.1.3. Características del Sistema Tohá.....	17
2.1.4. Descripción de las capas del Biofiltro .....	18
2.1.5. Lombricultura .....	19
2.1.6. La lombriz roja californiana ( <i>Eisenia foetida</i> ) .....	20
2.1.7. Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana .....	20
2.1.8. Anatomía de la lombriz roja californiana .....	21
2.1.9. Reproducción de las lombrices.....	22
2.1.10. Sistema digestivo de la lombriz de tierra.....	23
2.1.11. Condiciones favorables a la especie .....	23
2.1.12. Aguas residuales industriales.....	23
2.1.13. Agua Residual de la Industria láctea .....	24
2.1.14. Consumo de Agua .....	24
2.1.15. Aguas de limpieza y proceso .....	25
2.1.16. Aguas de refrigeración.....	25
2.1.17. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	26
2.1.18. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	27
2.1.19. Oxígeno Disuelto (O.D.) .....	27
2.1.20. Sólidos Sedimentables.....	28
2.1.21. Norma legal aplicable.....	28
2.2. Hipótesis de la Investigación .....	29
2.3. Objetivos de la Investigación .....	29

<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>30</b>
<b>METODOLOGÍA Y MATERIALES .....</b>	<b>30</b>
3.1 Tipo de Investigación .....	30
3.2. Ubicación del trabajo de investigación.....	30
3.3. Trabajo de campo y gabinete.....	32
3.3.1. Unidad de análisis, universo y muestra .....	32
3.4. Materiales .....	32
3.4.1. Material biológico.....	32
3.4.2. Material de campo .....	32
3.4.3. Material de Gabinete .....	32
3.4.4. Elección de la industria para la investigación .....	32
3.4.5. Elección del lugar para la construcción del biofiltro .....	33
3.4.6. Construcción del Biofiltro .....	33
3.4.7. Implementación del Biofiltro.....	34
3.4.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
3.4.9. Abastecimiento de agua al biofiltro .....	35
3.4.10. Toma de Muestra .....	35
3.4.11. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	33
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>37</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1. Análisis de los resultados .....	37
4.1.1. Aceites y grasas .....	37
4.1.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	37
4.1.3. Demanda Química de Oxígeno.....	38
4.1.4. Oxígeno Disuelto .....	39
4.1.5. Sólidos Sedimentables.....	39
4.1.6. Eficiencia de remoción del biofiltro .....	40
4.2. Resumen de resultados .....	41
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>42</b>
5.1. Conclusiones.....	42
5.1. Recomendaciones .....	42
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>45</b>
Anexo1 Resultados de laboratorio.....	46
Anexo 2 Panel fotográfico.....	51

## INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Clasificación de la <i>Eisenia foetida</i> .....	20
Tabla 2. Comparación de Resultados con los VMA .....	28
Tabla 3. Métodos de análisis de parámetros.....	36
Tabla 4. Consolidado de resultados de los análisis .....	41
Tabla 5. Comparación de resultados con los Valores Máximos Admisibles .....	41

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Capas del Biofiltro .....	18
Figura 2. Corte transversal de la <i>Eisenia foetida</i> .....	21
Figura 3. Aparato digestivo de la <i>Eisenia foetida</i> .....	22
Figura 4. Reproducción de la <i>Eisenia foetida</i> .....	22
Figura 5. Ubicación del Biofiltro.....	31
Figura 6. Esquema de perfil del biofiltro.....	34

## INDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Evolución de las concentraciones (Aceites y grasas) .....	37
Gráfico 2 Evolución de las concentraciones (DBO). .....	38
Gráfico 3. Evolución de las concentraciones (DQO) .....	38
Gráfico 4. Evolución de las concentraciones (Oxígeno Disuelto) .....	39
Gráfico 5. Evolución de las concentraciones (Solidos Sedimentables) .....	40
Gráfico 6. Promedio de concentraciones (efluente crudo y del efluente tratado) .....	40
Gráfico 7. Eficiencia de remoción del biofiltro para cada parámetro .....	41

## RESUMEN

En la investigación se presenta una alternativa ecológica y de bajo costo que ha demostrado ser eficaz y operativa en plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala, utilizando el sistema de tratamiento Tohá Modificado. En el distrito de Celendín existen industrias lácteas que aún no implementan sistemas de tratamiento de efluente que les permita verter éstos a las corrientes de agua y/o a la red de alcantarillado evitando la contaminación de la misma por la alta carga orgánica que contienen. En el presente trabajo de se ha realizado el tratamiento del efluente de una industria láctea en la ciudad de Celendín para lo cual se ha construido un biofiltro tipo Tohá de un metro cúbico de capacidad. El volumen de muestra para cada análisis ha sido de acuerdo a los correspondientes protocolos, tomadas de cada muestra de sesenta litros de agua residual proveniente de una industria láctea, de las cuales previamente se ha hecho la caracterización ,antes de ingresarlo al biofiltro, y después de pasar por el mismo, obteniéndose una reducción en DQO del 92%, el cual es el parámetro principal de la investigación, pero también, se ha hecho el análisis de la DBO del cual se ha obtenido una reducción del 94%, aceites y grasas 96%, de solidos sedimentables 96% y el oxígeno disuelto se incrementó en un 59%; esto nos indica las bondades del tratamiento con el biofiltro, para este tipo de industria, que también podría aplicarse a otro tipo de aguas residuales. Lo que nos permite recomendar este tipo de tratamiento para industria láctea a pequeña y mediana escala en nuestro medio.

## **ABSTRACT**

In researching an ecological alternative and inexpensive that has proven effective and operative treatment plants of small and medium-scale treatment system using the Modified Toha presented. In the district of Celendín there are dairies that have not yet implemented effluent treatment systems to enable them pour water currents and / or to the sewerage system avoiding contamination thereof by containing high organic load. In the present work it has been carried out effluent treatment of a dairy industry in the city of Celendin for which it has built a biofilter Tohá type of one cubic meter capacity. The sample volume for each analysis was according to the appropriate protocols, taken from each sample sixty liters of waste water from a dairy, which previously has characterization before submit the biofilter and then going through the same, resulting in a reduction in DQO of 92%, which is the main parameter of the investigation, but also has made the analysis of the DBO which has obtained a reduction of 94%, oils and fats 96%, 96% of settleable solids and dissolved oxygen increased by 59%; This indicates the benefits of treatment with the biofilter, for this type of industry, which could also apply to other types of wastewater. Allowing us to recommend this treatment for the dairy industry to small and medium scale in our environment.



## INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito de la protección del medio ambiente, tiene un lugar destacado, el referente a los recursos hídricos, sean estos mares, lagos, ríos, canales, napas subterráneas, entre otras. Su conservación, ausente de cualquier tipo de contaminación, permite asegurar la supervivencia de la población y de sus actividades productivas.

De esta manera surge el concepto de depuración o tratamiento de aguas residuales, a fin de minimizar el impacto que puedan causar en nuestro medio ambiente las constantes emanaciones y descargas producidas en él.

Actualmente existen en el mundo sistemas de tratamiento que han sido utilizados por mucho tiempo, denominados sistemas convencionales, donde sus características, ventajas y desventajas son muy conocidas, fruto de muchos años de estudio y seguimiento. Sin embargo las plantas de tratamiento convencionales son muy caras de construir, tienen altos costos de operación (especialmente eléctrica) y mantenimiento, requieren de personal calificado y generan subproductos indeseables (lodos). (Salazar 2005)

Con el desarrollo de la presente investigación hemos demostrado la eficiencia de un Biofiltro en la remoción de la carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín, el cual fue construido en las instalaciones de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca; el efluente utilizado durante la investigación fue obtenido del proceso productivo de la industria de alimentos del CEFOP N° 09 de la provincia de Celendín, industria en la cual se producen diversos tipos de derivados lácteos tales como quesos en diversos tipos, helados, yogurt entre otros, lo que genera un alto índice de carga orgánica en su efluente.

De esta manera comprobamos que el sistema de tratamiento al que hemos denominado Tohá Modificado y el uso de la lombriz roja californiana dentro del sistema, ha resultado ser eficiente en la reducción de los parámetros planteados DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos sedimentables, aceites y grasas y un incremento del oxígeno disuelto, tal como se muestra más adelante en el análisis de los resultados obtenidos.

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planeamiento del Problema

A nivel global, el tratamiento de un efluente industrial resultante del proceso productivo de la industria de alimentos a pequeña, mediana y gran escala es un problema que aún no tiene una solución definitiva debido a que los costos de implementación y operación de los sistemas llamados convencionales son muy elevados para justificar dicha inversión, ocasionando de éste modo que las pequeñas industrias se vean en la necesidad de evacuar su efluente directamente a los cursos de agua, ocasionando un gran impacto debido a la elevada concentración de la carga orgánica que en él se encuentra. Entonces es necesario plantear alternativas de solución a éste grave problema, alternativas como la que ofrecemos en el presente documento; el tratamiento del efluente con un sistema no convencional, utilizando recursos ya estudiados ampliamente como el Sistema Tohá, y la utilización de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la depuración de los contaminantes del agua.

Cajamarca es una región productora de leche y sus derivados, los cuales arrojan los residuos de los procesos a las fuentes de aguas superficiales, incluso la gran industria de la leche lo hace, contaminando las corrientes de agua restringiendo su aprovechamiento para otras actividades que dependen del agua.

En Celendín la pequeña industria de la leche se ubica generalmente en la zona rural donde sin ningún control ni tratamiento se arroja a las corrientes superficiales causando contaminación por la alta carga orgánica del agua residual.

En la ciudad de Celendín existe la producción de derivados de la leche como yogur, queso, mantequilla y otros productos, sobresaliendo el CEFOP y la planta procesadora Villa Amalia, por lo en la presente investigación se tomará las muestras de aguas residuales de esta planta para determinar si el biofiltro planteado y ya probado en otros lugares ayuda a resolver esta problemática.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Cuál es la eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín?

## **1.3. Justificación de la investigación**

En la actualidad es necesario ofrecer alternativas de solución a problemas latentes como el que nos ocupa, que es el tratamiento de un efluente industrial de producción de alimentos. Es conocido que pocas son las empresas en nuestro país que muestran un verdadero interés por solucionar dicho problema. Somos testigos que muchas empresas, grandes y pequeñas no cumplen con la legislación nacional vigente en ésta materia. Podemos exponer varios argumentos para justificar esto, pero se considera que el principal es el alto costo que implica la implementación de sistemas convencionales de tratamiento, los más usados IAF (induced air flotation) o DAF (dissolved air flotation) cuyos costos son muy elevados e implican gastos de operación, mantenimiento y personal calificado a cargo del sistema.

En la presente investigación se plantea el uso de un recurso, ya estudiado con anterioridad, como es el Sistema Tohá, el origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin. Los resultados obtenidos con el presente estudio servirá como un aporte más en el conocimiento de esta tecnología, bajo condiciones diferentes a las estudiadas anteriormente, y que contribuirá que en pequeñas industrias se implemente esta tecnología en beneficio del medio ambiente y de todas las personas que habitamos este planeta. Servirá también de base para estudios posteriores.

## **1.4. Delimitación de la investigación**

En la presente investigación solamente se determinarán DQO, como parámetro principal y DBO, Oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, aceites y grasas, como parámetros complementarios, cuyas muestras fueron tomadas del efluente industrial del Centro de Formación Profesional N° 09 (CEFOP N° 09) Celendín. Para eso se

construyó un módulo experimental (Biofiltro) en las instalaciones de la escuela académico profesional de Ingeniería Ambiental de Celendín (EAPIAC).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Marco Teórico

##### 2.1.1. Antecedentes

El objetivo de los diferentes tipos y niveles de tratamiento es en general, reducir la carga de contaminantes del vertido (o agua residual) y convertirlo en inocuo para el medio ambiente y la salud humana.

Para comenzar podemos decir que los mecanismos de depuración se clasifican en tres categorías:

- Mecanismos físicos
- Mecanismos químicos
- Mecanismos biológicos

Entre los mecanismos o proceso físicos podemos mencionar: desengrasado, decantación, sedimentación, adsorción y filtración mecánica.

Entre los mecanismos químicos podemos mencionar: floculación y coagulación, oxidación y reducción, intercambio iónico, neutralización y precipitación química.

Entre los mecanismos biológicos se hace mención a sistemas de tratamiento en que la diferencia sustancial, para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, consiste en el medio de cultivo empleado, por ejemplo, sistemas de Lodos Activados utilizan cultivo biológico en suspensión, en tanto que los Biofiltros, cultivo biológico adherido.

En lo que respecta a la tecnología seleccionada a la presente investigación se puede rescatar los siguientes trabajos relacionados al tema:

Hernández (2005) abordó un anteproyecto de construcción para la aplicación de lombricultura, que se contempla como solución para la empresa procesadora Salmones

Invertec S.A. de Llau- Llau en lo referido al tratamiento de sus residuos industriales líquidos. Para lo que propone el uso de unidades ya existentes, tales como el sistema de separación de sólidos, así mismo analiza las actuales condiciones de trabajo de la instalación, parámetros de contaminación presentes en los riles y los esperados una vez aplicado el lombrifiltro. Finalmente el sistema en cuestión obedece a la necesidad de la empresa de tratar sus residuos industriales líquidos, utilizando un sistema de tratamiento que es efectivo y con costos bajos de inversión y de operación.

Salazar (2005) desarrolló una investigación referida a la aplicación de un sistema denominado Tohá como alternativa al uso de fosas sépticas en zonas rurales de Chile, Siendo esta la solución más utilizada para el tratamiento de las aguas residuales en sectores rurales. En esta tesis, se presenta una alternativa ecológica, que ya se ha demostrado ser eficaz y operativa en plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala, finalmente menciona como conclusión que con la utilización del sistema, se obtienen impactos positivos en la calidad de las aguas que se vierten a los cuerpos de agua o al subsuelo, ya que este tratamiento es muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. Esto se debe a que este sistema se encuentra diseñado para el cumplimiento de la norma de utilización de agua para riego (Norma Chilena 1.333).

Arango (2003) Desarrolló una evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas, se tomaron 10 muestras de aguas residuales del Zanjón de la Aguada en los meses de julio a octubre y se sometieron a pruebas microbiológicas de enriquecimiento, aislamientos, bioquímicas y serológicas, establecidas según los métodos estándares para el análisis de agua y aguas residuales. Los resultados arrojaron un 80% de eficiencia en la remoción de Salmonella y una remoción de coliformes totales y fecales de 6 escalas logarítmicas de (10<sup>7</sup> a 10<sup>0</sup>). En las pruebas de calidad de agua, el Sistema resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO<sub>5</sub>, un 80% en sólidos suspendidos totales (SST), y un 70% en nitrógeno y fósforo, lo que cumple con la Norma Chilena CHN 1.333, para el uso de aguas residuales tratadas en riego de cultivos agrícolas .

Los principales microorganismos responsables del tratamiento biológico de las aguas residuales son: bacterias, protozoos y rotíferos, hongos y algas. Sin embargo dentro de

estos microorganismos, juega un importante papel la acción de las bacterias, encargadas de la descomposición de la materia orgánica del efluente (Metcalf & Eddy 1995)

Las bacterias se encargan de degradar la materia orgánica, a través de su acción enzimática, desde donde obtienen energía y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Estos procesos pueden desarrollarse tanto vía aerobia, anaerobia o facultativa, utilizando sistema de cultivo fijo o en suspensión.

Así pues, el metabolismo de las células bacterianas se efectúa mediante reacciones químicas de oxidación y de síntesis, las cuales son producto del resultado de distintos procesos de la célula, que se desarrollan a través de numerosas reacciones catalizadas por enzimas que oxidan una fracción de la materia orgánica dando lugar a productos finales y liberando la energía necesaria para la síntesis de nuevo tejido celular, es decir nuevas células bacterianas.

En ausencia de materia orgánica, el tejido celular será utilizado endógenamente, produciéndose productos gaseosos finales y materia residual. En la mayoría de los sistemas de tratamiento biológicos estos tres procesos (oxidación, síntesis y respiración endógena) tienen lugar simultáneamente (Metcalf & Eddy 1995)

### **2.1.2. Sistema Tohá y Biofiltro**

El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación a este fin.

Es así, que a partir de los trabajos realizados en EE.UU. a fines de la década de los 70, se manifestó la conveniencia de utilizar a las lombrices en el proceso de depuración y estabilización de las aguas residuales domésticas e industriales.

Las primeras investigaciones se limitaron a usar las lombrices no en el tratamiento de aguas, sino en el tratamiento de lodos que resultaban de la depuración de las aguas.

Actualmente se postula que las lombrices deben estar en una función directa en el tratamiento de las aguas, especialmente en la etapa de oxidación biológica, incluidas en el biofiltro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

De esta manera, el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el Sistema Tohá. En 1994, gracias al apoyo de FONDEF se construyó una planta experimental de tratamiento de aguas residuales en CEXAS Melipilla (perteneciente a EMOS), utilizando este tipo de tecnología desarrollada en la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad de Chile, para una población de 1000 personas (A.V.F. Ingeniería Ambiental 2003)

Hoy en día en Chile, ya están en funcionamiento plantas domiciliarias e industriales desde la Quinta hasta la Décima región, las que tratan aguas domésticas de residencias privadas, comunidades rurales, balnearios, condominios, campamentos, municipalidades, empresas agroindustriales en el sector lechero, mataderos e industrias de procesamiento de alimentos.

Además el uso de éste sistema a nivel internacional avalan el éxito de esta tecnología, una planta purificadora situada en la región de Montpellier en Francia que utiliza éste sistema para purificar las aguas residuales de 2000 personas, una planta piloto en Italia, una empresa que quiere la licencia de distribución para todo México y otra para Venezuela (Salazar 2005) .

De esta forma, el sistema de biofiltro, posee características que la hace especialmente atractiva para el tratamiento de las aguas servidas de pequeñas localidades rurales. Además, resulta ser una biotécnica de transformación que ofrece las mayores ventajas:

- Cumplen con las emisiones ambientales de descargas.
- Es un proceso rápido, que elimina inconvenientes desagradables como el olor y las moscas.
- Es extraordinariamente económica.
- Es de fácil gestión.



- Es hoy en día el único sistema de transformación que nos permite al final del ciclo obtener al mismo tiempo, por un lado humus de lombriz, que representa el máximo de calidad en términos de fertilización orgánica, y por otro lado, grandes cantidades de proteínas de excelente calidad.

### **2.1.3. Características del Sistema Tohá**

Se puede decir que el biofiltro, corresponde a una adaptación del sistema tradicional de lombricultura, definido como el conjunto de operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento de residuos orgánicos por medio de éstas, para su reciclaje en forma de abonos y proteínas. La que encuentra su aplicación en generación de: humus de lombriz, alimentos para mascotas y/o animales, avicultura, piscicultura y carnada para peces. A diferencia de los sistemas tradicionales de lombricultura, en el biofiltro, el sustrato es proporcionado a través de la presencia de éste en las aguas residuales domésticas que percolan a través de un medio filtrante, donde se encuentran las lombrices en gran cantidad (Salazar 2005).

El biofiltro está compuesto, fundamentalmente, por 3 capas y lombrices del tipo *Eisenia foetida*. Esto es, una base filtrante de bolones, sobre la cual se agrega una capa de ripio o grava. La parte superior se cubre con aserrín o viruta de madera de ulmo o tepa (principalmente) sobre el cual se mantiene un alto número de lombrices (Quezada 2001).

La materia orgánica que queda retenida en el medio filtrante es removida por una población de microorganismos y las lombrices adheridas al medio, los que se encargan de degradar la materia orgánica que utilizan como fuente de alimento, energía para sus procesos metabólicos y una fracción que pasa a formar parte de su masa corporal. Las lombrices luego de digerir la materia orgánica producen a través de sus deyecciones el denominado humus de lombriz, que cada cierto tiempo puede extraerse y ser utilizado como abono orgánico para el suelo.

No produce lodos inestables al degradarse la totalidad de sólidos orgánicos del agua residual, en su lugar se obtiene humus.

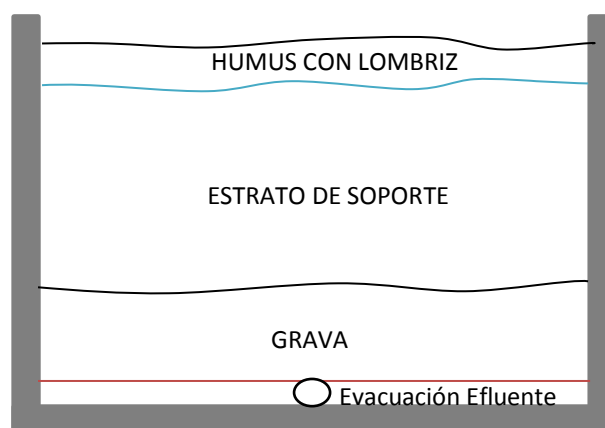
Como resultado del proceso, se obtiene un fertilizante de suelos, formando principalmente por humus, el que es muy valorado por su alto contenido nutritivo, destacándose también la obtención de proteínas en el sistema.

El tratamiento biológico que se realiza en el biofiltro tiene el carácter de tratamiento de tipo aeróbico, dado que la acción de la *Eisenia foetida* ayuda a mantener la permeabilidad del lecho impidiendo la colmatación de éste, debido a que las lombrices consumen el material orgánico retenido en el filtro integrándolo al suelo en forma de humus, cuya estructura granular de éste (humus) al ir produciéndose aumenta en forma progresiva la porosidad del medio filtrante y facilitando la oxigenación, producto de las constantes excavaciones que realiza en el terreno, en forma de túneles y canales, a través de los movimientos migratorios de ésta. (A.V.F. Ingeniería Ambiental 2003)

Otra característica importante es el alto índice de absorción del biofiltro, debido entre otros, a los movimientos migratorios de la lombriz lo que se traduce en una carrera rápida del filtro conllevando a la no producción de olores desagradables y consecuentemente evitando la proliferación de vectores como moscas y otros.

#### 2.1.4. Descripción de las capas del biofiltro

El Biofiltro estará compuesto por un espacio libre para la evacuación del efluente, una capa de grava, una capa de soporte y una capa de humus con lombriz, tal como se muestra en la figura siguiente:



**Figura 1** Capas del Biofiltro  
**Fuente:** A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003

### **2.1.5. Lombricultura**

Esta biotecnología se inició en EE.UU., se extendió a Europa y finalmente hacia el resto del mundo; aplica normas y técnicas de producción utilizando las lombrices rojas californianas para reciclar residuos orgánicos biodegradables y, como fruto de su ingestión, los anélidos efectúan sus deyecciones convertidas en el fertilizante orgánico más importante hoy disponible.

Con su actividad participan en la fertilización, aireación, formación del suelo y es posible obtener materia orgánica muy estable en un tiempo relativamente corto para su uso inmediato en la agricultura. Se trata del humus de lombriz, sustancia inodora parecida a la borra de café que, en comparación con la urea, es cinco veces superior en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio.

La lombricultura se presenta como una alternativa para el manejo ecológico de los residuos orgánicos que generalmente se disponen inadecuadamente y producen problemas ambientales (Alarcón s.f.).

Los residuos orgánicos como: cáscaras de alimentos, frutas, verduras, papel y otros, se descomponen y al hacerlo se transforman en materia orgánica también llamado compost, con el compost se alimentan las lombrices, las cuales aprovechan para sí, una parte y la otra la desechan como excremento produciendo el humus o lombricompost. El compostaje y la producción de humus con la lombriz roja californiana puede ser desarrollada en los campos universitarios, escuelas, instituciones públicas, guarniciones militares y policiales en las fincas y casas campesinas e incluso en pequeña escala en los condominios, urbanizaciones y hasta apartamentos, esto contribuiría a una disminución ostensible del volumen de residuos que día a día son entregados a los carros recolectores (Alarcón s.f.).

Entre los seres vivos que pueblan el suelo, el más numeroso, conocido y a la vez el más ignorado es la lombriz. Existen en un buen suelo, entre 100 a 200 por cada metro cuadrado ( $m^2$ ). Es una gran comedora de tierra, cada día come una cantidad igual a su peso. En un año, una enorme cantidad de tierra pasa por sus cuerpos, haciendo un ejercicio de imaginación matemática, nos alcanzaría para llenar unos 6 camiones de

10.000 kilos cada uno. Al hacer esto remueve, airea y mezcla mucho más tierra que la más moderna maquinaria (sin usar petróleo, ni mano de obra).

Pero lo más importante aún, es la transformación que hace de la tierra; la tierra que pasa por su cuerpo es transformada, llegando a tener en alimentos asimilables por las plantas, 5 veces más nitratos, 7 veces más Fósforo, 11 veces más Potasio, 2 veces más Calcio y 2 veces más Magnesio que un suelo común (Mejía 2008).

#### **2.1.6. La Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*)**

Hoy se conocen aproximadamente 8.000 variedades de lombrices, pero sólo 3.500 de ellas han sido estudiadas y clasificadas. De estas 3.500 variedades, unas pocas han sido domesticadas y adaptadas para realizar en criaderos, la función que en forma natural realizan en la tierra, trabajando en forma intensiva y generando un valioso producto, que es el humus de lombriz.

De las especies domesticadas, sin duda la que ha dado mejor resultado es la *Eisenia foetida*, variedad que encontramos en los principales criaderos de lombrices de Europa, Estados Unidos y Japón, que son países donde mayormente se han desarrollado esta actividad. En Chile, este anélido ha demostrado ser capaz de desarrollarse en excelentes condiciones, considerando las variaciones climáticas y de altitud que se presentan (Mejía 2008).

#### **2.1.7. Clasificación Taxonómica de la Lombriz Californiana o *Eisenia foetida***

La clasificación de la *Eisenia foetida* se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 1. Clasificación de la Eisenia foetida*

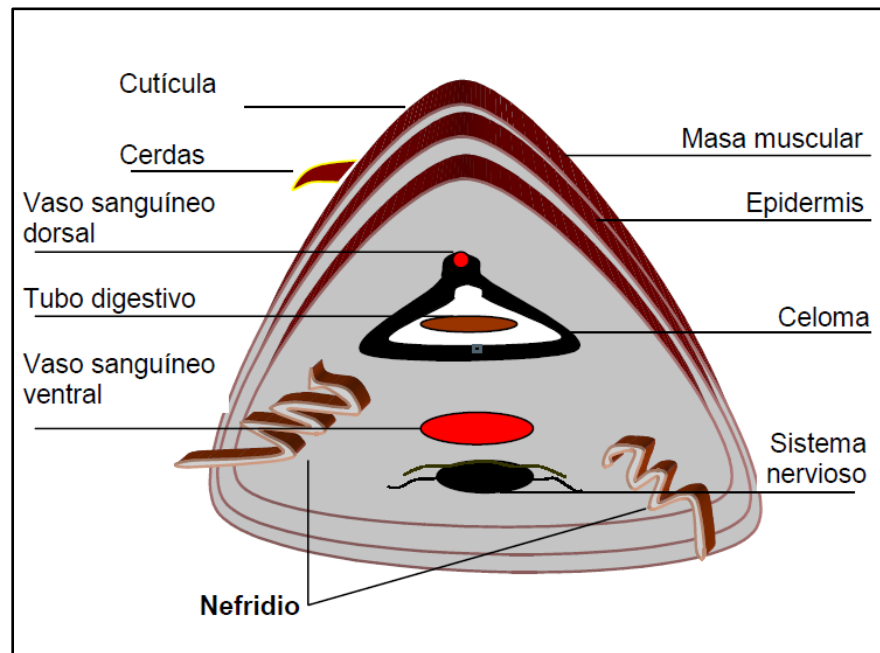
<b>Reino</b>	Animal
<b>División</b>	Anélidos
<b>Clase</b>	Clitelados
<b>Orden</b>	Oligoquetos
<b>Familia</b>	Lombrícidos
<b>Género</b>	Eisenia
<b>Especie</b>	Foétida

*Fuente: Días 2002*

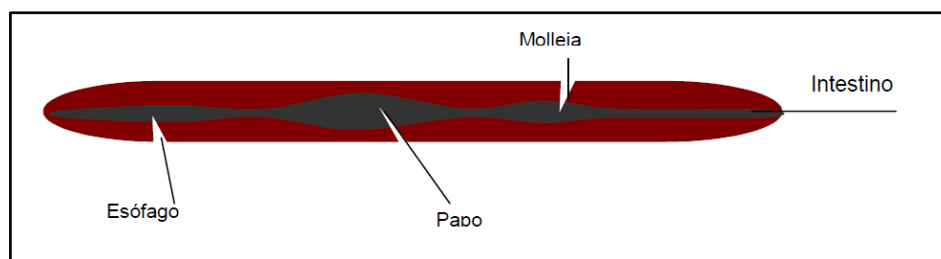
### 2.1.8. Anatomía de la lombriz roja californiana

Para una mejor *comprensión* de la anatomía de la *Eisenia foetida* dividiremos órganos y tejidos principales.

- a. **Cutícula.** Lámina quitinosa muy delgada, finalmente estriada, cruzada por fibras.
- b. **Epidermis.** Epitelio simple con células glandulares que están encargadas de producir mucus y sustancias cerosas.
- c. **Capas musculares**
- d. **Peritoneo.** es lo que limita al celoma (Cavidad de la lombriz).
- e. **Celoma.** Espacio que contiene líquido y envuelve al canal alimenticio. Este fluido se expulsa ante el peligro.
- f. **Tubo digestivo.** Ocupa casi toda la parte central. Éste canal corre desde la boca al ano. Detrás de la boca encontramos la cavidad bucal y dentro de ella las células del paladar (prostomio). Luego de la cavidad bucal, continúa la faringe y continúa el papo y la molleja que aplastan el alimento para su digestión. Detrás de la molleja comienza el intestino donde ocurre la digestión y la absorción de los alimentos, pudiendo detectar glucosa y sacarosa entre otras sustancias.



**Figura 2.** Corte transversal de la *Eisenia foetida*  
**Fuente:** Días 2002



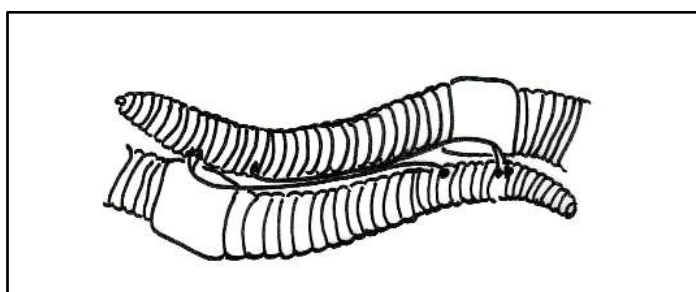
**Figura 3.** Aparato digestivo de la *Eisenia foetida*  
**Fuente** Manual de Lombricultura ADEX

### 2.1.9. Reproducción de las lombrices

Las lombrices son hermafroditas, es decir, están dotadas de órganos sexuales masculinos y femeninos, pero son incapaces de autofecundarse y se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada (Alarcón s.f.)

Luego de producirse la fecundación, depositan en el lugar donde se alimentan 3 cápsulas de paredes resistentes (llamadas cocones) conteniendo cada una de 3 a 10 lombrices pequeñas. Estas lombrices, que son igual a las adultas pero de color blanco y más pequeñas, están sometidas a peligros que pueden ser mortales para su delicada contextura como: falta de comida, presencia de algún producto tóxico, enemigos naturales, etc. haciendo que disminuya apreciablemente el número inicial, llegando aproximadamente un 50% al estado adulto (Días 2002).

La máxima actividad sexual se logra cuando la temperatura oscila alrededor de los 22°C. Cada lombriz puede producir al año, en condiciones favorables, alrededor de unas 1.500 lombricitas. El promedio de vida de la lombriz es de 16 años (Alarcón s.f.).



**Figura 4.** Reproducción de la *Eisenia foetida*

### **2.1.10. Sistema digestivo de la lombriz de tierra**

El sistema digestivo de la lombriz de tierra incluye una boca, una faringe muscular, que empuja el alimento después de humedecerlo, hacia el esófago luego hacia un buche, donde el alimento es almacenado, y una molleja con músculos fuertes, donde el alimento es triturado. Lo mismo que en la lombriz de tierra, las aves poseen un buche y una molleja, donde almacenan y trituran los alimentos. A continuación sigue el intestino, en donde se lleva a cabo la digestión extracelular y la absorción de los productos. Los residuos pasan luego al recto y salen al exterior por el ano. Nutrición de animales, Set. 2010, consultado el 22 de agosto de 2016. (Roxalyn 2010).

### **2.1.11. Condiciones favorables a la especie**

Entre las condiciones más favorables para la *Eisenia foetida* se puede considerar las siguientes:

- Temperatura ideal entre 18 a 22°C,
- Ph entre 6.7 a 7.2
- Luminosidad 0.0,
- Humedad 80%
- Oxígeno 1-2 mg /l.
- La presencia del clitelo indica la madurez sexual de la lombriz

Hay que tener en cuenta que la *Eisenia foetida* se adapta paulatinamente a nuevas condiciones (Roxalyn 2010).

En (AGUAS INDUSTRIALES 2014) hallamos las siguientes definiciones:

### **2.1.12. Aguas residuales industriales**

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ella es bastante variable, dependiendo de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, entre otros). Así esta agua pueden variar desde aquellos con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen

sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, minería) (Metcalf & Eddy 1995).

### **2.1.13. Agua residual de la industria láctea**

Los principales aspectos medioambientales de la industria láctea tienen que ver con un elevado consumo de agua y energía, la generación de aguas residuales con alto contenido orgánico y la producción y gestión de residuos. De menor importancia son las emisiones de gases y partículas a la atmósfera y el ruido.

Es importante destacar que la cuantificación de estos aspectos puede variar entre unas instalaciones y otras en función de factores como el tamaño y antigüedad de la instalación, equipos, manejo, planes de limpieza, sensibilización de los empleados.

### **2.1.14. Consumo de agua**

Como en la mayoría de las empresas del sector agroalimentario, las industrias lácteas consumen diariamente grandes cantidades de agua en sus procesos y, especialmente, para mantener las condiciones higiénicas y sanitarias requeridas.

Dependiendo del tipo de instalación, el sistema de limpieza y manejo del mismo la cantidad total de agua consumida en el proceso puede llegar a superar varias veces el volumen de leche tratada. Este consumo suele encontrarse entre 1,3-3,2 litros de agua/kg de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10 litros de agua/kg de leche recibida. Sin embargo, es posible optimizar este consumo hasta valores de 0,8-1,0 litros de agua/kg leche recibida utilizando equipamientos avanzados y un manejo adecuado.

El mayor consumo de agua se produce en las operaciones auxiliares, particularmente en la limpieza y desinfección, donde se consume entre el 25-40% del total.

El problema medioambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada (fundamentalmente orgánica). En cuanto al volumen de aguas residuales generado por una empresa láctea se pueden encontrar valores que oscilan entre 2 y 6 l/l leche procesada.



Las aguas residuales generadas en una empresa láctea se pueden clasificar en función de dos focos de generación: procesos y limpieza, y refrigeración.

#### **2.1.15. Aguas de Limpieza y Proceso**

Se trata de agua proveniente de la limpieza de superficies, tuberías, tanques, equipos. Pérdidas de producto, suero, salmuera, fermentos, etc. Son aguas que se caracterizan por tener pH extremos, alto contenido orgánico (DBO y DQO), aceites y grasas, sólidos en suspensión. Los volúmenes producidos van de 0,8 a 1,5 litros de agua residual por cada litro de leche procesada.

#### **2.1.16. Aguas de Refrigeración**

Se trata de aguas provenientes de las torres de refrigeración, condensados, entre otros. Son aguas que experimentan variaciones de temperatura y conductividad. Podemos estimar un volumen entre 2 y 4 litros por cada litro de leche procesada. Se ha estimado que el 90% de la DQO de las aguas residuales de una industria láctea es atribuible a componentes de la leche y sólo el 10% a suciedad ajena a la misma.

En la composición de la leche además de agua se encuentran grasas, proteínas (tanto en solución como en suspensión), azúcares y sales minerales. Los productos lácteos además de los componentes de la leche pueden contener azúcar, sal, colorantes, estabilizantes, etc., dependiendo de la naturaleza y tipo de producto y de la tecnología de producción empleada. Todos estos componentes aparecen en las aguas residuales en mayor o menor cantidad, bien por disolución o por arrastre de los mismos con las aguas de limpieza.

En general, los efluentes líquidos de una industria láctea presentan las siguientes características:

- Alto contenido en materia orgánica, debido a la presencia de componentes de la leche. La DQO media de las aguas residuales de una industria láctea se encuentra entre 1.000-6.000 mg DBO/l.
- Presencia de aceites y grasas, debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos, como en las aguas de lavado de la mazada.

- Niveles elevados de nitrógeno y fósforo, principalmente debidos a los productos de limpieza y desinfección.
- Variaciones importantes del pH, vertidos de soluciones ácidas y básicas. Principalmente procedentes de las operaciones de limpieza, pudiendo variar los valores del PH entre 2 y 11.
- Conductividad elevada (especialmente en las empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente del salado del queso).
- Variaciones de temperatura (considerando las aguas de refrigeración).
- Las pérdidas de leche, que pueden variar de (0,5 a 2,5) % de la cantidad de leche recibida o en los casos más desfavorables hasta del (3 a 4) %, son una contribución importante a la carga contaminante del efluente final. Un litro de leche entera equivale aproximadamente a una DBO<sub>5</sub> de 110000 mg O<sub>2</sub>/l y una DQO de 210000 mgO<sub>2</sub>/l.

#### **2.1.17. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de Dicromato de Potasio, en una solución de Ácido Sulfúrico y convertirla en dióxido de carbono y agua, en consecuencia la DQO representaría la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar químicamente una muestra ( Ramalho 1996).

Las principales limitaciones de la DQO son: no revelar si la materia orgánica es o no biodegradable, no dar una idea del porcentaje de materia biológicamente activa que sería estabilizada en un flujo.

Las principales ventajas de la DQO son: el corto tiempo requerido para realizar el análisis (sólo 3 horas), y que ayuda localizar condiciones tóxicas y materias no biodegradables.

El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO<sub>5</sub>, puesto que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. Es común utilizar como indicador de estabilidad la razón DQO/DBO; en aguas residuales domésticas esta razón se encuentra entre 1,8 – 2,2 y en efluentes muy estabilizados la relación puede llegar hasta valores cercanos a 10.

### **2.1.18. Demanda bioquímica de oxígeno**

La cantidad de oxígeno utilizada durante la descomposición de la materia orgánica biodegradable es lo que se conoce como “Demanda Bioquímica de Oxígeno” (DBO). La DBO nos permite determinar la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en una muestra y además nos sirve como indicador de la comida disponible para el sistema biológico (carga orgánica) (Ramalho 1996).

Esencialmente, la oxidación biológica completa de la materia orgánica, lleva aproximadamente 20 días. Sin embargo, la experiencia muestra que el análisis de la DBO realizada por 5 días de incubación ( $DBO_5$ ) es suficiente. Este ensayo se realiza por un periodo de 5 días a una temperatura de 20 °C (Metcalf & Eddy 1995)

La oxidación se realiza en dos etapas: en la primera etapa se oxidan los compuestos carbonáceos y en la segunda, los compuestos nitrogenados. En los análisis rutinarios, la DBO se considera sólo la primera etapa, ya que experimentalmente en 5 días la DBO ejercida es 70% a 80% de la demanda total.

La DBO se calcula de la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y final. La  $DBO_5$  suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas servidas domésticas e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas.

### **2.1.19. Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno es poco soluble en el agua y es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Para mantener las formas superiores de vida su presencia es esencial.

Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con Oxígeno Disuelto (OD), pero la demanda de oxígeno de los desechos puede ser consumido rápidamente. Las fuentes de oxígeno disuelto son la aireación natural y la fotosíntesis, su concentración y solubilidad en el agua depende de factores como la temperatura, movimientos de curso receptor, salinidad.

La concentración de oxígeno en cursos de aguas que presentan baja concentración suele variar entre 7 a 10 mg/l, concentraciones inferiores a 2 mg/l puede tener serios efectos en la vida acuática superior (Quezada 2001).

### 2.1.20. Sólidos sedimentables

Corresponden a los sólidos (de tamaño aprox. mayor a 10-2 mm.) que sedimentan en el fondo de un recipiente en forma de cono, llamado Cono de Imhoff, el cual puede ser de vidrio o plástico rígido, en donde se coloca un litro de muestra fresca y se deja en reposo durante un periodo de 60 minutos. Transcurrido este tiempo, se lee directamente en la gradación del cono, los mililitros de sólidos sedimentables, por litro de muestra. Están constituidos aproximadamente de un 75% de sólidos orgánicos y 25% de inorgánicos (Metcalf & Eddy 1995).

Los sólidos sedimentables constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual (Metcalf & Eddy 1995)

### 2.1.21. Norma legal aplicable

Los valores máximos permisibles para la descarga de aguas residuales NO domésticas en la red de alcantarillado dado por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento en el 2009 (MVCS 2009), lo que se muestran a continuación:

Tabla 2. Comparación de resultados con los valores máximos admisibles

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	1000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO	500
Oxígeno disuelto	mg/L	OD	NO INDICA
Sólidos sedimentables	mg/L	SS	8,5
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

**Fuente:** (MVCS 2009)

## **2.2. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

La eficiencia de remoción del biofiltro, es superior al 50% de la carga orgánica inicial de un efluente industrial en la ciudad de Celendín.

## **2.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de un biofiltro para un efluente industrial en la ciudad de Celendín.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y MATERIALES

#### 3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca dentro de las definiciones que la ubican como un trabajo experimental.

#### 3.2. Ubicación del trabajo de investigación

La ubicación del trabajo de investigación se describe a continuación:

<b>País</b>	Perú
<b>Región</b>	Cajamarca
<b>Provincia</b>	Celendín
<b>Distrito</b>	Celendín
<b>Lugar</b>	Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental.

La ubicación geográfica es la siguiente:

En la ciudad de Celendín:

Biofiltro

**Altitud** 2620 msnm

**Este** 816026.81 m.

**Norte** 9240987.92 m.

Sistema de referencia WGS 84 UTM.

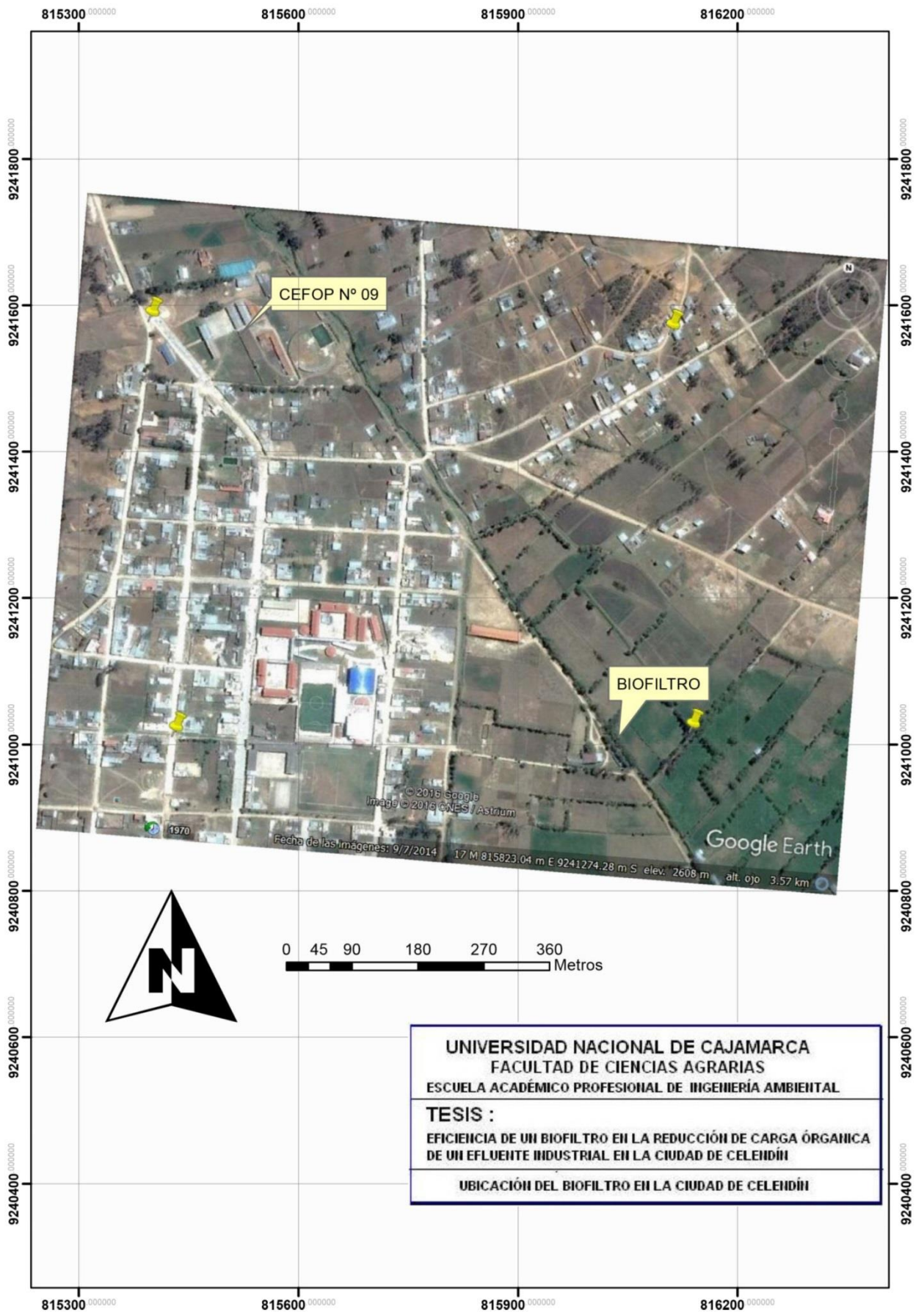


Figura 5. Ubicación del Biofiltro

### **3.3. Trabajo de campo y gabinete**

#### **3.3.1. Unidad de análisis, universo y muestra**

**Universo** : Aguas residuales del proceso productivo del CEFOP N° 09.

**Muestra** : 0.06 m<sup>3</sup> de efluente para el funcionamiento del biofiltro

**Unidad de Análisis** : De acuerdo al método de análisis para cada parámetro establecidos en la investigación (Tabla 3).

### **3.4. Materiales**

#### **3.4.1. Material Biológico**

Para la presente investigación se empleará la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

#### **3.4.2. Material de campo**

Se utilizó el siguiente material.

- Biofiltro.
- Frascos para la recolección de las muestras
- Caja conservadora.

#### **3.4.3. Material de gabinete**

- Computadora
- Impresora
- Papel Bond A4
- Libreta de Campo
- Otros

La investigación se realizó de acuerdo a lo establecido en el proyecto, respetando los procesos planteados los cuales se ejecutaron de la siguiente manera:

#### **3.4.4. Elección de la industria para la investigación**

Se realizó las coordinaciones con Sr. Celso Tello Villanueva (Coordinador del Centro de Formación Profesional CEFOP N° 09 de la ciudad de Celendín), el cual autorizó la toma de muestras y la utilización del efluente resultante de los diferentes procesos productivos que se realizan en ésta institución.



La elección se realizó teniendo en cuenta que en la provincia de Celendín, el CEFOP N° 09 es la institución que realiza diferentes procesos para derivados lácteos y cuenta con personal calificado, una infraestructura adecuada y con equipamiento para tal fin.

La institución cuenta con un punto de descarga del efluente que facilitó la recolección de la muestra para luego ser trasladado al biofiltro ubicado en el campus de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería ambiental, ubicado a una distancia de 500 metros.

#### **3.4.5. Elección del lugar para la construcción del biofiltro**

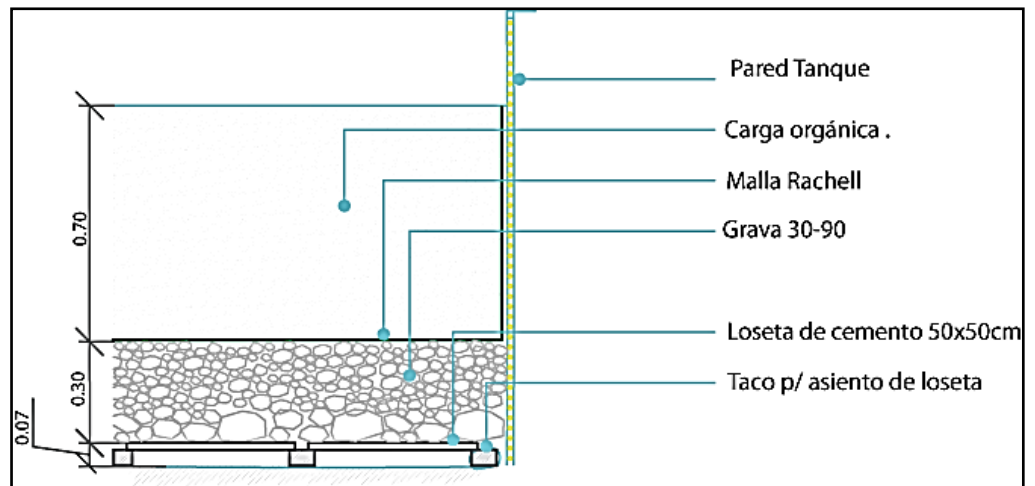
Se construyó el biofiltro en las instalaciones de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, con la intención que luego de su utilización en el presente trabajo sirva como módulo experimental para futuras investigaciones de los docentes y alumnos de ésta casa superior de estudios.

#### **3.4.6. Construcción del biofiltro**

El biofiltro se ubica en un lugar accesible en el campus de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, para poder monitorear permanentemente los avances y se empleó el siguiente material para su construcción:

- El módulo experimental consta de una construcción de  $01\text{m}^3$  (1x1x1).
- $0.3\text{ m}^3$  de grava de 30-90mm.
- $0.7\text{ m}^3$  de viruta de pino.
- Malla Raschel del 90% (media sombra) 3 x 3mts.
- Regadera.
- Losetas de 50 x 50cm.
- Lombriz Roja Californiana + Humus (50 kg).

A continuación se muestra un esquema de perfil del biofiltro:



*Figura 6. Esquema de perfil del biofiltro*

Una vez seleccionado el lugar adecuado dentro de las instalaciones de la EAPIAC, se procedió al apilamiento de los materiales necesarios para la construcción de la estructura que nos servirá para la investigación.

Con los materiales en el lugar designado se procedió a la construcción del biofiltro de acuerdo a los parámetros establecidos para la presente investigación.

También se colocó un esquema del biofiltro en la parte lateral para que se pueda observar la estructura interna del biofiltro.

### **3.4.7. Implementación del biofiltro**

Para la implementación del biofiltro se realizó la selección de los materiales para empezar con el armado del módulo experimental.

**Primero:** Se colocó un soporte de madera que sirvió como drenaje para que el efluente fluya libremente hacia el exterior del módulo, luego se adicionó la grava (cantos rodados).

**Segundo.** Luego de terminar con la colocación de la grava, se continuó con el proceso de armado, colocando una malla rachell antes de agregar la viruta de pino que nos servirá como soporte y filtro.

Una vez que se agregó la viruta de pino hasta el nivel indicado en el esquema, y luego de realizar el lavado correspondiente utilizando agua potable se procedió a colocar dentro del biofiltro la carga de *Eisenia foetida* en una cantidad de 50 kg de humus con lombriz.

Las lombrices utilizadas en la presente investigación fueron adquiridas del módulo de lombricultura de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental.

Una vez terminado éste proceso, y habiendo verificado el funcionamiento a través de la adición de agua (el agua sirvió para verificar el flujo normal y además para lavar el tanino de la madera), el biofiltro quedó listo para seguir con la investigación planificada.

#### **3.4.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se realizó la recolección de muestras del biofiltro, según lo planificado en el proyecto que dio origen a la presente investigación:

**Primera toma:** Caracterización de la muestra antes de iniciar el proceso.

**Segunda toma:** A los 07 días para verificar el avance.

**Tercera toma:** A los 14 días para verificar el avance.

**Cuarta toma:** a los 21 días para comprobar los resultados.

#### **3.4.9. Abastecimiento de agua residual al biofiltro**

El abastecimiento se realizó con una regadera, cuidando que el biofiltro se encuentre saturado de efluente permanentemente.

El volumen recolectado fue resultado del proceso productivo del CEFOP N° 09 siendo en promedio 0.06 m<sup>3</sup> de efluente industrial en cada recolección para incorporarlo al biofiltro.

#### **3.4.10. Toma de muestra:**

Se realizaron cuatro tomas de muestras cada 07 días, según lo planificado.

Se realizó la toma de muestras según lo establecido por el laboratorio que realizó los análisis (Laboratorio de Biología y Química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca), para lo cual se tuvo en cuenta la “Guía para la realización de monitoreo ambiental en el sector agrario” del Ministerio de Agricultura y Riego, la cual en el punto 25 del alcance de la Guía considera a la “elaboración de quesos, yogurt, mantequilla, manjares blancos y análogos de origen lácteo, en base a leche fresca, de transformación primaria”, dentro de las 50 actividades consideradas en el Decreto Supremo N° 019-2009- MINAM, (MINAM 2009). Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, lo cual se enmarca en nuestra investigación.

Para el análisis de cada parámetro se utilizó las siguientes consideraciones:

Tabla 3. Métodos de análisis de parámetros

ANÁLISIS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	ACREDITACIÓN / ALCANCE (*)	VOLUMEN DE UNIDAD DE ANÁLISIS ( ml )
Demanda Bioquímica de Oxígeno (CX)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210-B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test	1 mg/L	NTP-ISO / IEC 17025:2006 / ASUB, AS, Agua de consumo, ARD, ARM, ARI	1000
Demanda Química de Oxígeno (COL) (CX)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5220-D, 22nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (DQO): Closed Reflux, Colorimetric Method	3 mg/L	NTP-ISO / IEC 17025:2006 / ASUB, AS, Agua de consumo, ARD, ARM, ARI	500
Oxígeno Disuelto (CX)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-O-C, 22nd Ed. 2012. Oxygen (Dissolved): Azide Modification	0.4 mg/L	NTP-ISO / IEC 17025:2006 / ASUB, AS, Agua de consumo, ARD, ARM, ARI	500
Sólidos Sedimentables (CX)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2540-F, 22nd Ed. 2012. Solids: Settleable Solids.	mg/L*h	NTP-ISO / IEC 17025:2006 / Agua, ASUB, AS, ARI, ARD, ARM, AM, ASL,SAL, AIR	1000
Aceites y Grasas (CX)	SGS-MAC-ME-01 Rev. 00 (2010). Determinación de Aceites y Grasas según EPA-Método 1664 Revisión A - Modificado (validado).	0.5 mg/L	NTP-ISO / IEC 17025:2006 / Agua, AS, ARD, ARI, ARM, AM, ASL,SAL, AIRS	500

Fuente: Protocolo de muestreo ANA-MINAGRI.

### 3.4.11. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos

El análisis de los resultados se realizó a través de una comparación entre los resultados obtenidos en el laboratorio para cada parámetro analizado y los límites máximos permisibles según la norma nacional vigente, con lo que se demostró que el biofiltro cumple con lo requerido.

## CAPÍTULO IV

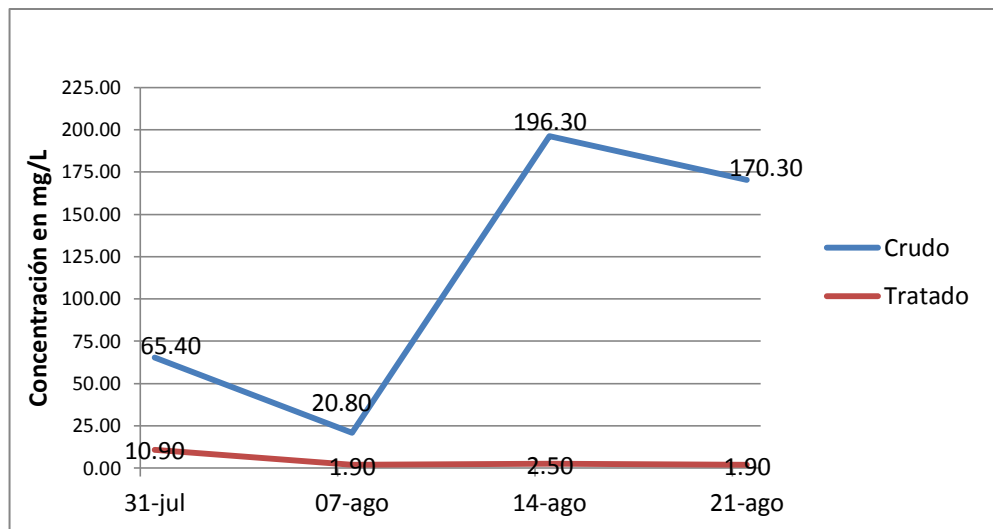
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de los resultados

Los informes de laboratorio para cada análisis se muestran en el anexo 001.

##### 4.1.1. Aceites y grasas

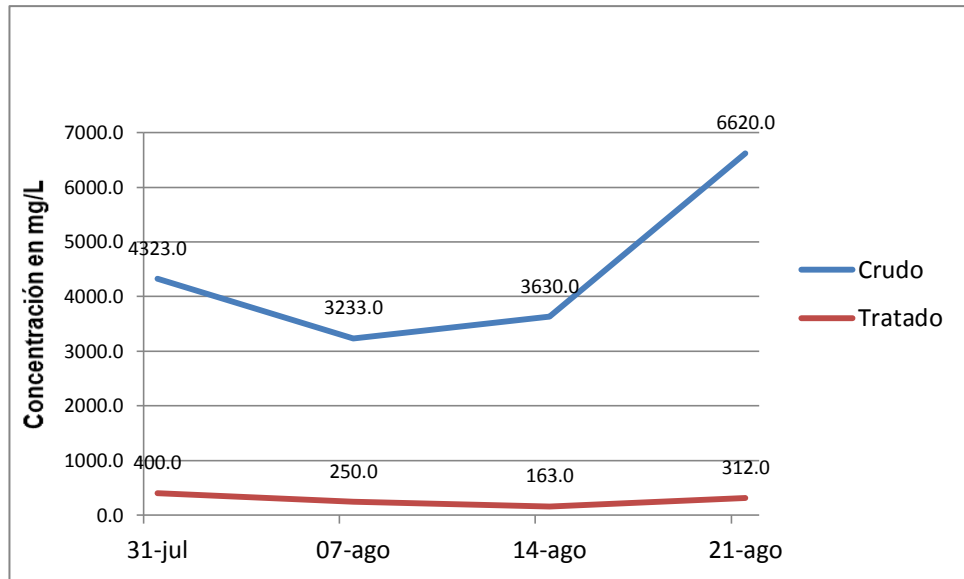
El gráfico nos muestra la evolución de los resultados, tanto del efluente crudo como del efluente tratado, se puede apreciar que pesar que los resultados para el efluente crudo son variables, la tendencia en el efluente tratado es a disminuir, lo cual confirma lo planteado en la investigación.



*Gráfico 1. Aceites y grasas (mg/L).*

##### 4.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno

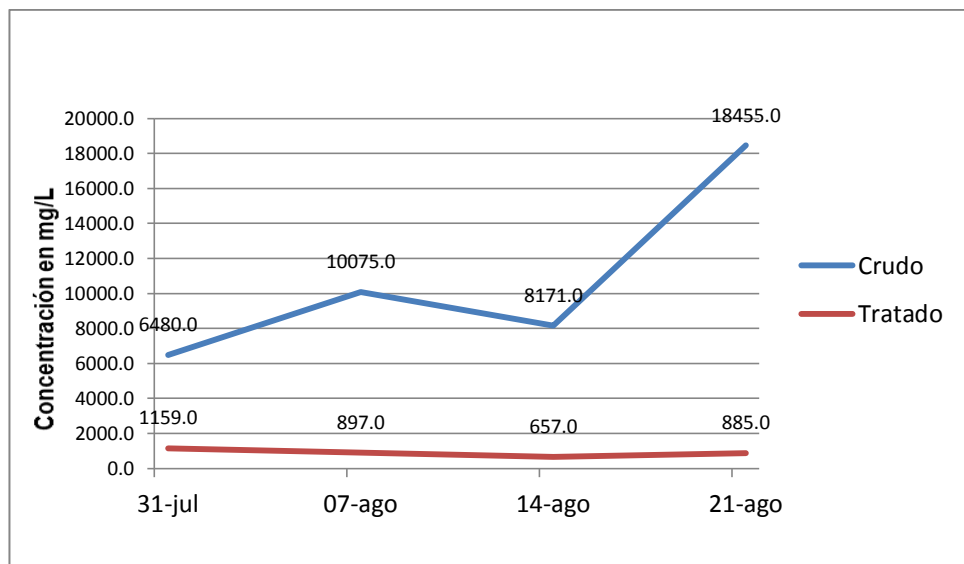
En el gráfico se muestra una elevada concentración de DBO en el efluente tratado, así como también se puede ver que los resultados para el efluente tratado se encuentran en todos los resultados por debajo de los 500 mg/l que es el límite máximo permisible por la normativa legal vigente en nuestro país.



*Gráfico 2. Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L).*

#### 4.1.3. Demanda química de oxígeno

En el gráfico se confirma lo planteado en la hipótesis de la presente investigación, al evidenciar que la reducción de la carga orgánica en todos los casos es muy superior al 50% planteado en la presente investigación, y estando todos los valores, en promedio, por debajo de los 1000 mg/l que es el LMP según la norma nacional vigente.



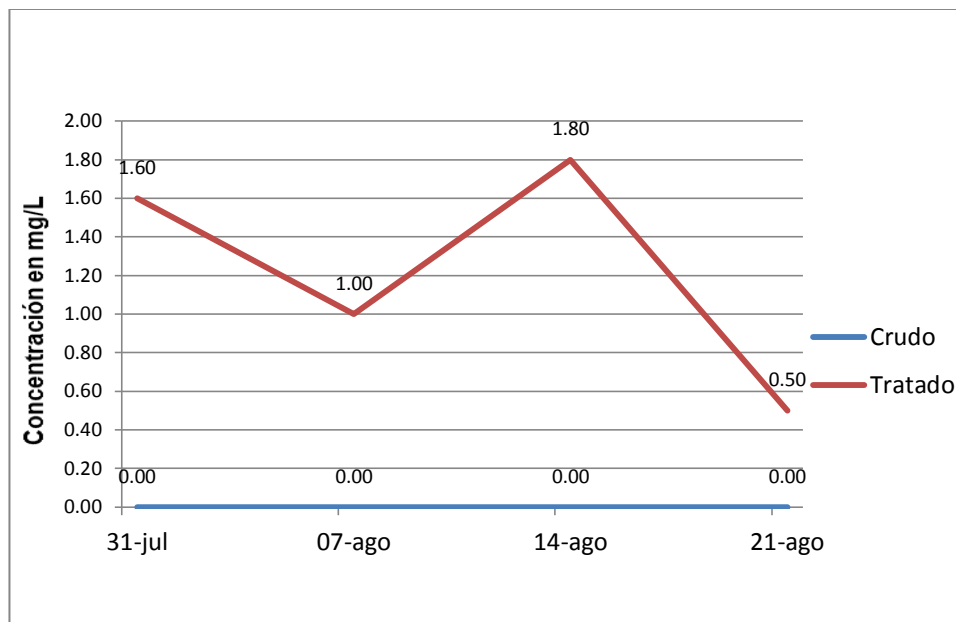
*Gráfico 3. Demanda química de oxígeno (mg/L)*

DBO y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. La relación entre ellas no es igual para diferentes tipos de agua, es decir un agua residual

urbana puede tener un 60% de la DQO en forma de DBO (valor promedio), pero las diferentes aguas industriales tienen diferentes porcentajes. Por ejemplo, un agua residual que provenga de una fábrica de tomates o de zumos, puede tener un 80-90% de la DQO en forma de DBO mientras que un agua proveniente de una industria tipo metalúrgica tendrá una DQO con un 30% de DBO. Los porcentajes por supuesto pueden variar según los casos, pero la relación para cada tipo de proceso entre DBO/DQO será parecido (Aguirre 2013)

#### 4.1.4. Oxígeno disuelto

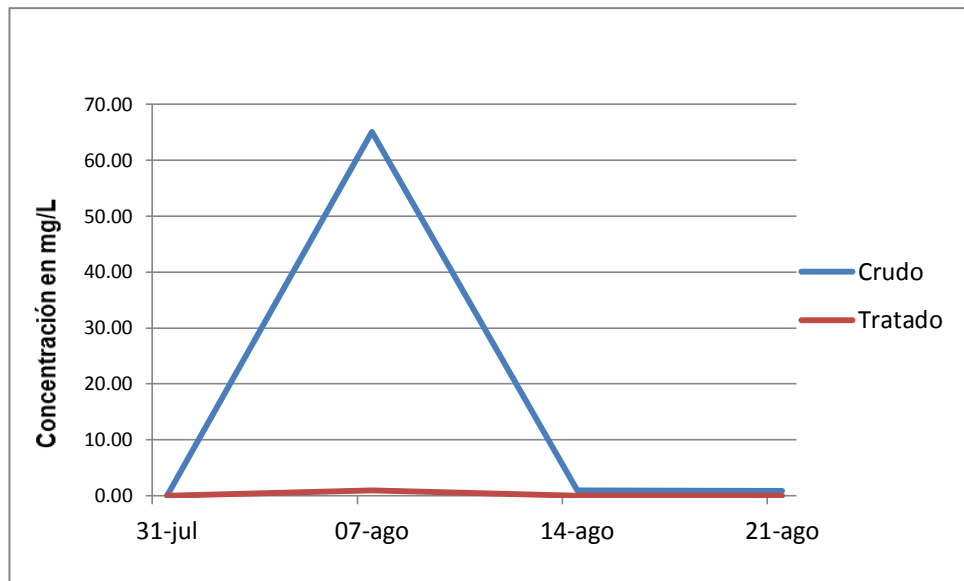
En el gráfico observamos que existe presencia de Oxígeno Disuelto en la muestra, lo que nos hace asumir que el proceso de depuración no es completamente anaeróbico.



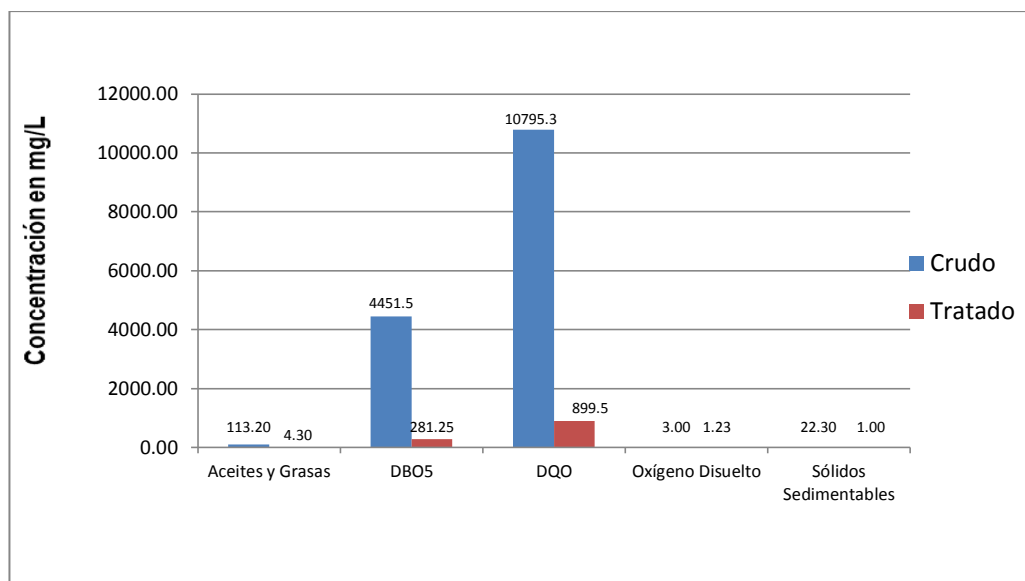
*Gráfico 4. Oxígeno disuelto (mg/L)*

#### 4.1.5. Sólidos sedimentables

Observamos que el resultado obtenido luego del tratamiento en el biofiltro es inferior a los LMP establecidos por la ley nacional, con lo cual se considera que el tratamiento es eficiente.



**Gráfico 5.** Sólidos sedimentables (mg/L).

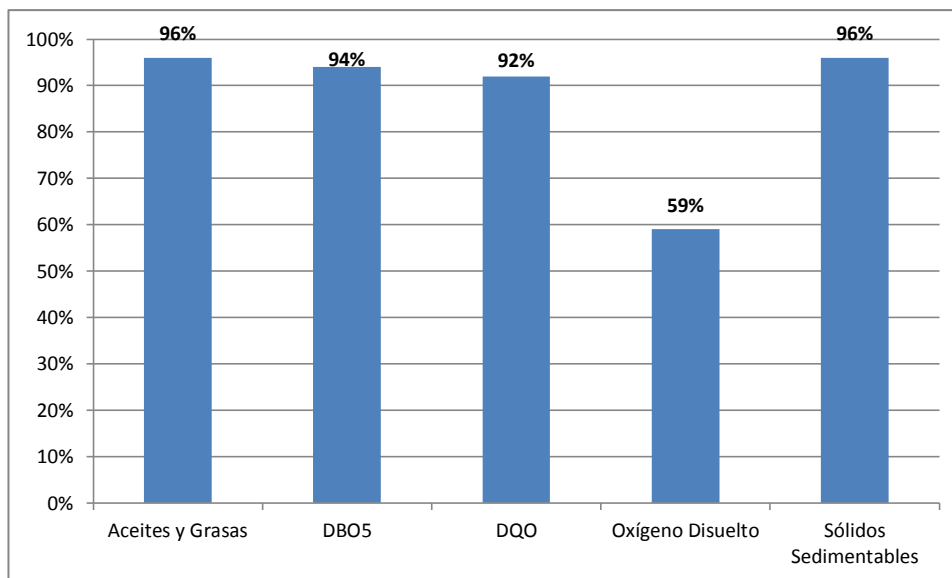


**Gráfico 6.** Promedio de las concentraciones (mg/L) del efluente crudo y del efluente tratado.

#### 4.1.6. Eficiencia de remoción del biofiltro

Con los resultados obtenidos y comparando con los LMP establecidos por la norma nacional, estamos en condiciones de afirmar la eficiencia de remoción de carga orgánica del biofiltro es superior al 50% de la concentración inicial planteado en la presente investigación.





**Gráfico 7.** Eficiencia de remoción del biofiltro para cada parámetro analizado.

#### 4.2. Resumen de resultados

**Tabla 4:** Consolidado de Resultados de los análisis

N° DE MUESTRA	01		02		03		04		PROMEDIOS		Eficiencias de Remoción	
	Código de Ensayo	MA1218104	MA1218136	MA1218443	MA1218645	CRUDO	TRATADO	CRUDO	TRATADO			
Tipo de Análisis	UND.	31-jul	07-ago	14-ago	21-ago	CRUDO	TRATADO	CRUDO	TRATADO	CRUDO	TRATADO	
Aceites y Grasas	mg/L	65.40	10.90	20.80	1.90	196.30	2.50	170.30	1.90	113.20	4.30	96%
DBO5	mg/L	4323.0	400.0	3233.0	250.0	3630.0	163.0	6620.0	312.0	4451.5	281.25	94%
DQO	mg/L	6480.0	1159.0	10075.0	897.0	8171.0	657.0	18455.0	885.0	10795.3	899.5	92%
Oxígeno Disuelto	mg/L	<0.3	1.60	<0.3	1.00	<0.3	1.80	<0.3	0.50	3.00	1.23	59%
Sólidos Sedimentables	mg/L	***	***	65.00	1.00	1.00	<0.5	0.90	<0.5	22.30	1.00	96%

Tabla 5. Comparación de resultados con los Valores Máximos Admisibles

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	VALOR OBTENIDO EN EL BIOFILTRO	CUMPLE
DEMANDA QUIMICA DE OXÍGENO	mg/L	DQO	1000	899,50	SI
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	mg/L	DBO	500	281,25	SI
OXIGENO DISUELTO	mg/L	OD	NO INDICA	1,23	SI
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	SS	8,5	1,00	SI
ACEITES Y GRASAS	mg/L	A y G	100	4,30	SI

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se confirma que la eficiencia de remoción del biofiltro es superior al 50% de la carga orgánica inicial del efluente industrial analizado.

Estos resultados nos confirman la eficiencia del Biofiltro como un sistema no convencional en el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria.

Teniendo en cuenta los valores máximos permisibles para la descarga de aguas residuales NO domésticas en la red de alcantarillado dado por Decreto Supremo N° 021 – 2009 del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, se evidencia que el efluente tratado cumple con la normativa legal para ser evacuado a la red de alcantarillado de la ciudad de Celendín.

#### 5.2. Recomendaciones

La presente investigación se debe utilizar como base de futuros estudios referentes al tratamiento y depuración de aguas residuales industriales y domésticas.

Se debe promover el uso de sistemas no convencionales en el tratamiento de aguas residuales, el biofiltro es un claro ejemplo de la eficiencia de un tratamiento biológico.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.V.F. Ingeniería Ambiental. (2003). Ventaja de los Sistemas Biofiltro en relación a los sistemas convencionales. (En línea). Chile. Consultado. 20 abril.2016. Disponible en <http://biofiltro.awardspace.com/biofiltro.html>.

Aguas Industriales (2014). (En línea). Consultado el 04 ene. 2016. Disponible en <http://aguasindustriales.es/depuradora-de-aguas-residuales-industria-lactea-aspectos-medioambientales-que-todo-responsable-de-calidad-debe-controlar>).

Aguirre, M. (2013). Agua y Depuración. Qué diferencia hay entre DQO y DBO. (En línea). Consultado 5 agosto 2016. Disponible en <http://www.aguaydepuracion.com/que-diferencia-hay-entre-dbo-y-dqo/>

Alarcón, R. (s.f.).Manual de lombricultura UDES. (en línea).Bucaramanga-Colombia. UDES. Consultado 06 ene.2016.Disponible en <https://www.scribd.com/document/319296272>.

Arango, J. (2003). Evaluación Ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas. Tesis Mg en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile. Santiago de Chile.79P.

Castro, E. (2014).Demanda química de oxígeno. (En línea).Bogotá. Colombia. Consultado agosto.2016.Disponible en [http://www.academia.edu/8423618/DQO\\_-\\_Analisis\\_de\\_la\\_Demanda\\_qu%C3%ADmica\\_de\\_Oxigeno\\_del\\_ca%C3%B1o\\_el\\_cortijo\\_bogota](http://www.academia.edu/8423618/DQO_-_Analisis_de_la_Demanda_qu%C3%ADmica_de_Oxigeno_del_ca%C3%B1o_el_cortijo_bogota).

Días, E. (2002) .Guía de Lombricultura. Lombricultura una alternativa de producción. (En línea).La Rioja. Argentina, ADEX. Consultado 5 ene. 2016. Disponible en [www.biblioteca.org.ar/LIBROS/88761.pdf](http://www.biblioteca.org.ar/LIBROS/88761.pdf).

Hernández B,Y. (2005). Anteproyecto de construcción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta Llau-Llao de Salmonera Invertec S.A. Tesis Ingeniero en Construcción. Universidad Austral de Chile.118.p.

Mejía, P. (2008). Agroflor. Manual de lombricultura. (En línea).Chile, Agroflor. Lombricultura. Consultado 12 ene.2016.Disponible en <https://es.scribd.com/doc/48801895/Agroflor-Manual-De-Lombricultura>.

Metcalf y Eddy. (1995). “Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización”. McGraw-Hill/interamericana de España S.A.1485 p. Recientes

MINAM (Ministerio del Ambiente, Pe). (2009). Aprueban el Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental DECRETO SUPREMO N° 019-2009-MINAM.El Peruano.26 (10742):403208-403208.

MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Pe). (2009).Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda. El Peruano.26 (10800):406305-406307.

Quezada, P. (2001) .Planta de Tratamiento de Residuos Industriales Lácteos. Tesis: Ingeniero en construcción. Universidad de la Frontera. Temuco-Chile.

Ramalho Rubens Sette. 1996. “Tratamiento de Aguas residuales”. Editorial Reverté, S.A. Barcelona.

Roxalyn. (2010). Sistema digestivo en Lombriz de tierra. (En línea).Perú. Nutrianimales. blogspot.pe.Consultado 22 agost.2016.Disponible en <http://nutrianimales.blogspot.pe/2010/10/sistema-digestivo-en-lombriz-de-tierra.html>. Sistema digestivo de la lombriz de tierra.html.

Salazar M, P. (2005). SISTEMA TOHÁ; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Tesis Constructor Civil. Universidad Austral de Chile.105p.

Salazar M.P. Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, información disponible en [http://www.conicyt.cl/dossier/cd/docs.tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura](http://www.conicyt.cl/dossier/cd/docs.tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20mediante%20lombricultura).

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**



## Universidad Nacional de Cajamarca

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962  
LABORATORIO DE BIOLOGIA Y QUIMICA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
SEDE - CELENDIN

### ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA

PROYECTO : DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO EN LA REDUCCION DE  
CARGA ORGANICA DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE CELENDIN

SOLICITANTE: Bach. JULIO CESAR CHAVEZ RODRIGO

UBICACIÓN : CELENDIN - CAJAMARCA

#### ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA

- Código de ensayo : MA1218104
- Procedencia : CEFOP N° 09 – CELENDIN
- Hora de muestreo : 5:00 PM
- Fecha de Análisis : 31 de julio del 2015

### REPORTE

ENSAYOS	Unidades	L.D	RESULTADOS	
			Crudo	Tratado
Aceites y Grasas	mg/L	1,4	65,40	10,90
DBO <sub>5</sub>	mg/L	2	4 323,0	400,0
DQO	mg/L	3	6 480	1 159
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	0,3	<0,3	1,60
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,5	***	***

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL  
  
Ing. Jorge S. Lezama  
Jefe de Laboratorio Química



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962  
LABORATORIO DE BIOLOGIA Y QUIMICA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
SEDE - CELENDIN

**ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA**

PROYECTO : DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO EN LA REDUCCION DE  
CARGA ORGANICA DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE CELENDIN

SOLICITANTE: Bach. JULIO CESAR CHAVEZ RODRIGO

UBICACIÓN : CELENDIN - CAJAMARCA

**ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA**

- Código de ensayo : MA1218136
- Procedencia : CEFOP N° 09 – CELENDIN
- Hora de muestreo : 4:30 PM
- Fecha de Análisis : 07 de agosto del 2015

**REPORTE**

ENSAYOS	Unidades	L.D	RESULTADOS	
			Crudo	Tratado
Aceites y Grasas	mg/L	1,4	20,80	1,90
DBO <sub>5</sub>	mg/L	2	3 233,0	250,0
DQO	mg/L	3	10 075	897
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	0,3	<0,3	1,00
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,5	65,0	1,00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL  
  
Ing. JULIO CESAR CHAVEZ RODRIGO  
Jefe del Laboratorio Ambiental





## Universidad Nacional de Cajamarca

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

LABORATORIO DE BIOLOGIA Y QUIMICA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
SEDE - CELENDIN

### ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA

PROYECTO : DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO EN LA REDUCCION DE  
CARGA ORGANICA DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE CELENDIN

SOLICITANTE: Bach. JULIO CESAR CHAVEZ RODRIGO

UBICACIÓN : CELENDIN - CAJAMARCA

#### ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA

- Código de ensayo : MA1218443
- Procedencia : CEFOP N° 09 – CELENDIN
- Hora de muestreo : 5:40 PM
- Fecha de Análisis : 14 de agosto del 2015

### REPORTE

ENSAYOS	Unidades	L.D	RESULTADOS	
			Crudo	Tratado
Aceites y Grasas	mg/L	1,4	196,30	2,50
DBO <sub>5</sub>	mg/L	2	3 630,0	163,0
DQO	mg/L	3	8 171	657
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	0,3	<0,3	1,80
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,5	1,0	<0,5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
E.A.P. BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL  
  
Ing. Lezama Cuzco  
Jefe del Laboratorio Central



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962  
LABORATORIO DE BIOLOGIA Y QUIMICA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
SEDE - CELENDIN

**ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA**

**PROYECTO** : DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO EN LA REDUCCION DE CARGA ORGANICA DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE CELENDIN

**SOLICITANTE**: Bach. JULIO CESAR CHAVEZ RODRIGO

**UBICACIÓN** : CELENDIN - CAJAMARCA

**ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA**

- Código de ensayo : MA1218645
- Procedencia : CEFOP N° 09 – CELENDIN
- Hora de muestreo : 4:14 PM
- Fecha de Análisis : 21 de agosto del 2015

**REPORTE**

ENSAYOS	Unidades	L.D	RESULTADOS	
			Crudo	Tratado
Aceites y Grasas	mg/L	1,4	170,30	1,90
DBO <sub>5</sub>	mg/L	2	6 620,0	312,0
DQO	mg/L	3	18 455	885
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	0,3	<0,3	0,50
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,5	0,9	<0,5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL  
  
Jorge S. Zama Bueno  
Jefe de Laboratorio Químico

**ANEXO 2**  
**PANEL FOTOGRAFICO**



*Foto 1: Ingreso a la planta de procesos del CEFOP N° 09 – Celendín*



*Foto 2: Personal del CEFOP N° 09 durante el proceso de producción*





*Foto 3: Lugar de descarga del efluente industrial y lugar de recolección.*



*Foto 4: Apilamiento de materiales en lugar seleccionado*



*Foto 5: Proceso de construcción del biofiltro*



*Foto 6: Tesista realizando el rotulado correspondiente.*





*Foto 7: Esquema del biofiltro ubicado en la parte lateral de la estructura*



*Foto 8: Recolección de grava (cantos rodados) en el río La Llanga – Valle de Llanguat.*



*Foto 9: Agregando la grava necesaria al biofiltro*



*Foto 10: Agregando el sustrato orgánico (Viruta de pino)*





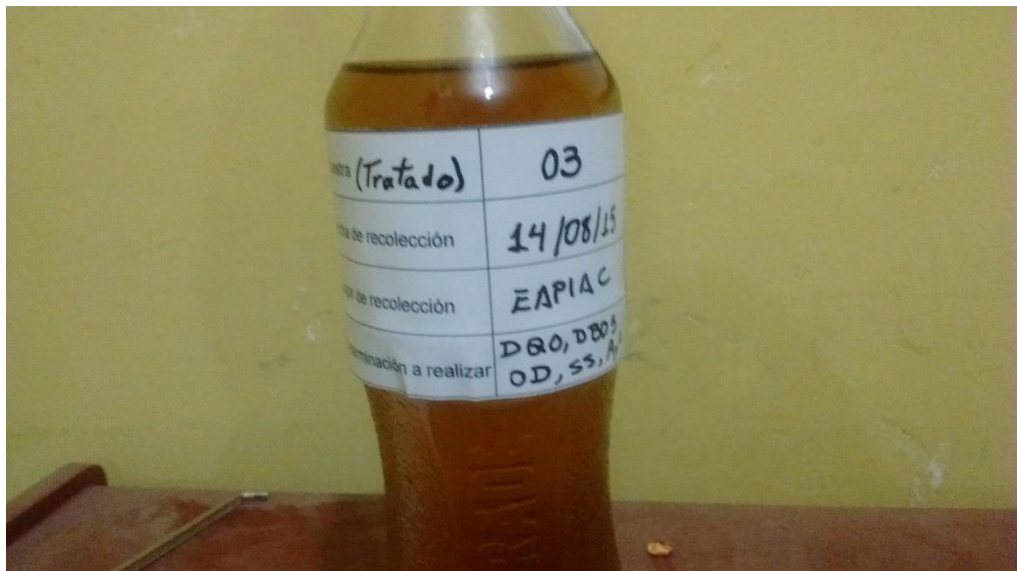
*Foto 11: Agregando la capa de humus con lombriz*



*Foto 12: Biofiltro terminado.*



*Foto 13: Toma de muestra del Biofiltro*



*Foto 14: Muestra etiquetada*





*Foto 15: Tesista y asesores en el Laboratorio*



*Foto 16: Tesista y asesores en el Biofiltro*