

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE  
LOMBRICES DE TIERRA (*EISENIA FOETIDA*) EN AGUAS RESIDUALES  
PROCEDENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS A NIVEL LABORATORIO

ERIKA PAOLA MANRIQUE DELGADO  
JENNIFER PIÑEROS CASTAÑEDA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.

2016

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE  
LOMBRICES DE TIERRA (*EISENIA FOETIDA*) EN AGUAS RESIDUALES  
PROCEDENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS A NIVEL LABORATORIO

ERIKA PAOLA MANRIQUE DELGADO  
JENNIFER PIÑEROS CASTAÑEDA

Proyecto integral de Grado para optar al título de:  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
FELIPE CORREA MAHECHA  
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.

2016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Ing. Elizabeth Torres Gamez  
Presidente de sustentación

---

Ing. Diana Cuestas  
Jurado 1

---

Ing. Martha Lucía Malagón  
Jurado 2

Bogotá, D.C. Agosto 09 de 2016

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano de Facultad de Ingeniería

Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

*Dedico este trabajo principalmente a Dios que me ha dado la sabiduría para lograr culminar esta etapa, a mis padres, hermano y a quien en vida fuera mi mayor apoyo e inspiración para la vida profesional y sobre todo en la realización del proceso que me llevo a culminar este proyecto.*

Jennifer Piñeros Castañeda

*Este proyecto está dedicado primero a Dios quien hace todo posible. A mis padres por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida. A mi padre por enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue. A mi madre, por cada día de mi vida demostrarme su amor y su apoyo incondicional. A mis hermanos por ser mi ejemplo y por estar presentes cuando más los necesitaba.*

Erika Paola Manrique Delgado

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer primero que todo el profesor Felipe Correa Mahecha por brindarnos su apoyo y confiar en nosotras durante este proceso, a Lácteos Pasco en especial al Ingeniero Jorge Ruiz por facilitarnos el agua residual y finalmente al SENA por apoyarnos en este proyecto y al profesor Walter Hernando Pérez Mora por brindarnos su ayuda.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
1. MARCO DE REFERENCIA	18
1.1. MARCO TEÓRICO	18
1.2. TIPOS DE TRATAMIENTOS	20
1.3. SISTEMA TOHÁ	20
1.4. LOMBRICES DE TIERRA	21
2. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL LOMBRIFILTRO	22
2.1. LOMBRICES DE TIERRA ( <i>EISENIA FOETIDA</i> )	27
2.2 TEMPERATURA	28
2.3 MATERIALES DE RELLENO	28
2.4 ALTURA DE LAS CAMAS	28
2.5 CAUDAL	29
3. DISEÑO METODOLÓGICO	31
3.1 EVALUACIÓN DEL BIOFILTRO	32
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	32
3.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	32
3.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)	32
3.2.3 Grasas y aceites	33
3.2.4 pH	33
3.2.5 Sólidos sedimentables (SSEV)	33
3.2.6 Sólidos suspendidos totales (SST)	34
4. ANÁLISIS DE DATOS DEL TRATAMIENTO	35
4.1 DQO	35
4.2 DBO	35
4.3 pH	37
4.4 SÓLIDOS SEDIMENTABLES	37
4.5 LOMBRICES DE TIERRA	37
5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A ESCALA REAL	38
5.1. RED DE DISTRIBUCIÓN	41
5.2 RUTA DE EVACUACIÓN	41
5.3 REMOCIÓN DEL HUMUS	41
6. VALORACIÓN DEL PROYECTO	43



6.1. ANÁLISIS DE COSTOS	43
6.1.1 Costos de construcción	43
6.1.2 Relleno del lombrifiltro	43
6.1.3 Red de distribución y evacuación	44
6.1.4 Bombas	44
6.2 COMPARACIÓN CON UN TRATAMIENTO CONVENCIONAL	45
7. CONCLUSIONES	46
8. RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	53

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Parámetros de la Resolución 0631 de 2015 para la elaboración de productos lácteos.	19
Tabla 2 Valores de los parámetros de lácteos Pasco.	19
Tabla 3 Índices de eficiencia.	20
Tabla 4 Porcentaje de remoción de diferentes especies de lombrices.	21
Tabla 5 Antecedentes.	23
Tabla 6 Parámetros del alimento de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> .	27
Tabla 7 Parámetros usado en los filtros (lombrifiltro y geofiltro).	29
Tabla 8 Condiciones de entrada del agua residual al tratamiento.	37
Tabla 9 Costos de construcción de lombrifiltro.	43
Tabla 10 Costos relleno de lombrifiltro.	44
Tabla 11 Costos red de distribución y evacuación.	44
Tabla 12 Costos bombas.	45
Tabla 13 Costos totales de inversión de un tratamiento convencional	45

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Tiempo Vs DQO.	35
Gráfica 2. Tiempo Vs DBO <sub>5</sub> .	36

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Incumpliendo de la normatividad en el sector alimentos.	18
Figura 2. Biofiltro construido.	30
Figura 3. Esquema lombrifiltro y geofiltro.	30
Figura 4. Etapas del proceso.	31
Figura 5. Botellas de incubación con muestras.	32
Figura 6. Calentamiento de muestras en el reactor DQO.	33
Figura 7. Método B. gravimétrico.	33
Figura 8. Prueba sólidos sedimentables.	34
Figura 9. Comportamiento del DBO.	36
Figura 10. Distribución de la planta de tratamiento de aguas.	42

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Resultado de análisis laboratorio.	53
Anexo B. Equipos Utilizados en la caracterización.	57
Anexo C. Especificaciones de los instrumentos.	60

## GLOSARIO

**ASPERJAR:** esparcir un líquido mediante uno o varios chorros tal que hace que se rompa en gotas muy finas antes de llegar al suelo.

**DEGRADAR:** disminución progresiva de las características del agua.

**DESBASTE:** eliminación de los sólidos presentes en el agua.

**DBO:** es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias.

**DQO:** se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte.

**GEOFILTRO:** es un sistema biológico que consta de diferentes capas de lechos filtrantes (no posee lombrices de tierra).

**HUMUS:** es un fertilizante orgánico y ecológico, resultado de la transformación, por parte de las lombrices rojas californianas, del compost procedente del estiércol natural y ya fermentado varias veces.

**PERCOLA:** hacer pasar el agua a través de un medio poroso.

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado, fue evaluada la factibilidad del uso de un sistema de depuración biológica denominada lombrifiltro, que contiene lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), realizando una comparación con respecto a un geofiltro (sin lombrices), ejecutando una revisión bibliográfica con respecto a los mejores parámetros de diseño, siendo usadas lombrices de tierra de la especie *Eisenia foetida*, un área de 20 cm de largo y 25 cm de ancho, contando con grava, gravilla y piedras de río como materiales de relleno, una proporción de la altura de las camas de 1:2:1:1 y manejando una temperatura ambiente, y siendo tratada agua residual de industria láctea, en este caso de la industria de Lácteos Pasco. Fueron estudiados los parámetros fisicoquímicos para la industria de alimentos exigidos por la Resolución 0631 de 2015, la cual estipula los valores máximos permisibles de los parámetros de vertimientos de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado público, siendo estos pH, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y grasas y aceites. Teniendo en cuenta los resultados de la experimentación, el DQO con un 79.56% de reducción en el lombrifiltro y de 55.18% en el geofiltro, el DBO no tuvo reducción respecto a la muestra sin tratar, el pH alcanzo un valor de 4.56, fue realizado un dimensionamiento a escala real del lombrifiltro con un caudal de 26.53 m<sup>3</sup>, con este se requiere 27 m<sup>2</sup> de área, 1.28 m de altura y un tiempo de contacto de 10h 18min y con estos resultados del dimensionamiento, se realizó un análisis costos respecto al montaje teniendo un costo total de \$42.761.655.

Palabras claves: DQO, DBO, lombrifiltro, geofiltro, lombrices.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es indispensable debido a la contaminación que el vertimiento de estas genera, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo estipula en la Resolución 0631 de 2015 “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”.

En Colombia el cambio de la norma que rige el vertimiento de aguas residuales de industrias ha llevado a que estas ajusten sus tratamientos a unos más rigurosos, en la actualidad el agua residual es tratada por medio de un tratamiento convencional que está basada en un proceso biológico aerobio para eliminar la materia orgánica disuelta, sin embargo, antes de realizar el proceso biológico es necesario pasar el agua por una serie de rejillas para retirar los sólidos, luego las grasas presentes se separan por medio de procesos como flotación, sedimentación o coagulación.

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar un tratamiento alternativo de aguas residuales con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) de la industria láctea, donde la mayor parte de la contaminación es materia orgánica principalmente proteínas, grasas y lactosa, además, trazas de productos químicos procedentes de las fases del proceso. Con este tratamiento se buscó disminuir los valores de los parámetros a los máximos permisibles.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar el tratamiento de depuración biológica con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

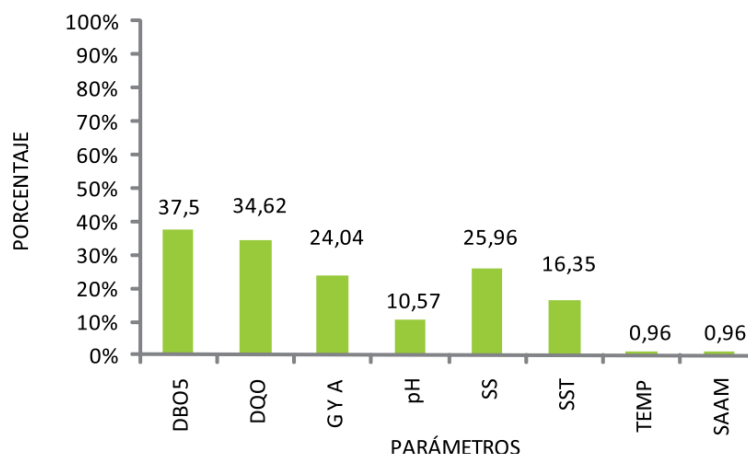
- Seleccionar los parámetros de diseño del biofiltro con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*).
- Determinar el porcentaje de remoción de carga orgánica por medio del desarrollo experimental.
- Realizar especificaciones técnicas del proceso.
- Realizar el análisis financiero del proceso.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

### 1.1 MARCO TEÓRICO

La caracterización del agua es realizada cuando es necesario conocer los contaminantes que esta presenta, estos varían dependiendo del sector que provenga, debido a que las materias primas y procesos efectuados son distintos; según la Secretaria Distrital de Ambiente, para la industria láctea es necesario monitorear los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, pH, sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), temperatura y tensoactivos (SAAM), como es observado en la Figura 1, los parámetros que presentan mayor incumplimiento en la industria de alimentos según un estudio realizado entre 2005 y 2008 a 85 empresas son la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, donde el porcentaje es estipulado con respecto al 100% de las empresas estudiadas<sup>1</sup>.

Figura 1. Incumpliendo de la normatividad en el sector alimentos



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente<sup>2</sup>

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible ha estipulado en la Resolución 0631 de 2015 los valores máximos permisibles de los parámetros de vertimientos de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado público.<sup>3</sup>

En el capítulo V están establecidos los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales.

<sup>1</sup> SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. VIII Fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y corrientes superficiales de Bogotá D.C. Bogotá D.C. [Consultado el Septiembre/152015]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/220042/Octava-FASE.pdf>. p. 26

<sup>2</sup> Ibit., p. 26

<sup>3</sup> Resolución 0631. Bogotá, D.C., 2015.

En el artículo 12 están establecidos los parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles de la industria de alimentos.

Tabla 1. Parámetros de la Resolución 0631 de 2015 para la elaboración de productos lácteos.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
pH	unidades de pH	6 – 9
Demanda química de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	450
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	250
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150
Sólidos sedimentables	mL/L	2
Grasas y aceites	mg/L	20

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

Teniendo en cuenta estos valores y comparándolos con la caracterización de una industria láctea (Tabla 2), puede observarse que el agua residual antes de ser tratada incumple con todos los parámetros que exige la norma para que esta pueda ser vertida a los sistemas de alcantarillado público; sin embargo, luego de haber realizado el tratamiento aún no cumple con todos los valores máximos permisibles que exige la norma establecida en el 2015 y por ende requiere de un tratamiento que modifique los parámetros para dar cumplimiento a la normatividad vigente.

Tabla 2. Valores de los parámetros de lácteos Pasco

Parámetro	Valor antes del tratamiento	Valor después del tratamiento
pH	4.33	4.13
Sólidos sedimentables	12 mL/L	1.8 mL/L
DBO	4640 mg/L	1215 mg/L
DQO	5299 mg/L	2423 mg/L
Sólidos suspendidos totales	472 mg/L	272 mg/L
Grasas y aceites	186 mg/L	114 mg/L

Fuente: Barón Quevedo<sup>4</sup>

<sup>4</sup> BARÓN QUEVEDO, Christian Giovanni y SILVA, Angela Sofía. Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Productos Lácteos Pasco. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2013.

## 1.2 TIPOS DE TRATAMIENTOS

“El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas tal como la sedimentación y el desbaste que permiten la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En el tratamiento secundario se realizan procesos biológicos y químicos, los cuales se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica. Por último, en el tratamiento avanzado se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias para remover esencialmente nutrientes, cuya reducción con tratamiento secundario generalmente no es significativa.”<sup>5</sup>

## 1.3 SISTEMA TOHÁ

Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales, ya sean de origen doméstico o industrial, el cual fue desarrollado por el Dr. José Tohá Castellá, en el año 1992, en este no es necesario realizar tratamientos primarios, secundarios ni terciarios porque este sistema cuenta con diferentes etapas que reemplazan estos tratamientos, no genera lodos debido a que la materia orgánica es consumida por las lombrices y además, no requiere de aditivos químicos. Según estudios anteriores el sistema presenta una alta eficiencia en la eliminación de los parámetros contaminantes del agua, el efluente resultante cuenta con una disminución del 99% de los coliformes totales, 95% de la DBO<sub>5</sub>; 95% de los sólidos totales; 93% de los sólidos suspendidos volátiles; y 60% a 80% del nitrógeno y 60% a 70% del fósforo (tabla 3), así mismo, sus costos de inversión y operación son bajos, con respecto a otros tratamientos tradicionales de aguas residuales.<sup>6</sup>

Tabla 3. Índices de eficiencia

Parámetros	Eficiencia
Coliformes fecales	99%
DBO <sub>5</sub>	95%
Sólidos totales	95%
Sólidos suspendidos	93%
Nitrógeno total	60 a 80%
Aceite y grasas	80%
Fósforo total	60 a 70%

Fuente: (Hernández, 2005)

El sistema Tohá tiene diferentes capas filtrantes, compuesto en forma descendente por lombrices de tierra y bacterias en lecho con humus, las cuales

<sup>5</sup> RAMALHO, RS. Tratamiento de Aguas Residuales Editorial Reverté. En: SA, España.

<sup>6</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. p. 49

degradan residuos sólidos y líquidos orgánicos, debido a que el afluente actúa como alimento de las lombrices y no dejan que el agua presente descomposición que generarían malos olores, luego viene aserrín y viruta, otra capa con gravilla y la última compuesta por piedras de río.<sup>7</sup>

El agua es asperjada en la superficie del filtro, luego, el agua percola a través de las diferentes capas del filtro, de ello aproximadamente el 95% de la materia orgánica del efluente queda retenida en la superficie y aserrín para luego ser consumida por las lombrices, oxidándola y transformándolas en anhídrido carbónico y agua.<sup>8</sup>

#### 1.4 LOMBRICES DE TIERRA

En este tratamiento alternativo el cuerpo de la lombriz funciona como un filtro biológico debido a que en el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación<sup>9</sup> y ha sido encontrado que este tratamiento es eficiente en términos de la disminución de los parámetros DQO, DBO, SST, STD; la mayor parte de las investigaciones que han sido realizadas alrededor de este tratamiento alternativo utilizan la lombriz de familia Lumbricidae, subfamilia Lumbricinae de género y especie *Eisenia foetida* (López Henández, 2007), sin embargo, también han sido estudiadas las especies *Perionyx excavatus*, y *Perionyx sansibaricus*, en la cual la remoción alcanzada por la especie *Eisenia foetida* con respecto a DBO y DQO fue de 87.16% y 86.53% respectivamente.<sup>10</sup>

Tabla 4. Porcentaje de remoción de diferentes especies de lombrices

Especie lombrices/parámetro	Porcentaje reducción de DBO	Porcentaje reducción de DQO
<i>Eisenia foetida</i>	87.16%	86.53%
<i>Perionyx excavatus</i>	85.88%	85.63%
<i>Perionyx sansibaricus</i>	84.77%	85.46%

Fuente: Rajpal, Ankur<sup>11</sup>. Modificado por los autores

<sup>7</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. p. 45

<sup>8</sup> Ibit., p. 47

<sup>9</sup> LÓPEZ HERNÁNDEZ, Jazmín Alejandra. Detección de microorganismos del tracto digestivo de la lombriz roja california por PCR. p. 2

<sup>10</sup> RAJPAL, Ankur, et al. Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor. En: Ecological Engineering. vol. 73, p. 154-161. p. 158

<sup>11</sup> Ibit., p. 158

## 2. PARÁMETROS DISEÑO DEL LOMBRIFILTRO

El diseño del lombrifiltro está basado en investigaciones anteriores, teniendo en cuenta la especie de lombrices, la altura, el tipo de material de los lechos filtrantes y el caudal; para la selección adecuada de estos, se tuvo en cuenta la eficiencia de reducción de los diferentes parámetros mostrados en la tabla 5, seleccionando las variables con mejor reducción y que este proyecto realizó la experimentación a escala laboratorio diseñando dos (2) reactores, con la misma área, y diferenciándose en que uno actuó como un blanco (sin lombrices) y el otro tendrá lombrices de tierra realizando así una comparación entre estos, para conocer el efecto que tienen las lombrices de tierra sobre el tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 5. Antecedentes

ESPECIE DE LOMBRIZ	ESCALA/ TIPO DE AGUA TRATADA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	CARACTERÍSTICAS BIOFILTRO	REFERENCIA
<i>Eisenia foetida</i>	Piloto de escala real/ Suero de queso	SST = 77,2% DBO = 79,2% DQO = 88,2%	3ª - capa de piedras aproximadamente de 0,15 mm de espesor. 2ª – capa 1 m de compost maduro leñoso con un dispositivo de aspersión. 1er – capa compost gruesa 0,30 m. Finalmente, el geotextil se coloca en la parte superior para impedir que la lluvia entre.	(Surindra, Mutiyar, & Sushma, Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes, 2012)
<i>Eisenia foetida</i> <i>Perionyx excavates</i> <i>Perionyx sansibaricus</i>	Escala laboratorio/ Aguas residuales domesticas	DBO = 84 – 87% DQO = 85 – 86%	4ª – capa consistió en gravas (tamaño 10-12mm) de profundidad 15 cm. 3ª – capa contiene partículas de arena (1 – 2 mm) de profundidad de 5 cm. 2ª – capa que es la activa que constituye vermigratings hasta la profundidad de 5 cm. 1er – capa OFMSW con profundidad de 10 cm, residuos sólidos de 2kg	(Ankur, y otros, 2014)
<i>Eisenia foetida</i>	Escala laboratorio/ Agua sintetica	DBO= 96% SST=90% SDT= 82%	200mm * 250 mm 1ra capa- 50 mm cama de lombrices 2da capa-100 mm piedra 6-8 mm 3ra capa – 50 mm piedra 1- 2 mm 4ta capa- 50 mm piedra 10- 12,5 mm 150 lombrices (densidad= 10.000 lombrices/m3 de lombrifiltro) Caudal 2,5 m3/m2d	(Tarun, Ankur, Renu, & K.S Hari, 2014)

Tabla 5. (Continuación)

ESPECIE DE LOMBRIZ	ESCALA/ TIPO DE AGUA TRATADA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	CARATERISTICAS BIOFILTRO	REFERENCIA
<i>Eisenia foetida</i>	Escala laboratorio/ Agua sintetica	DQO= 72,3% DBO= 80,7% SDT=53% SST= 75%	200mm*250mm 1ra capa- 100mm gusano- cama 2da capa- 50mm material de lecho de rio 3ra capa- 50 mm arena 2-4 mm 4ta capa- 50 mm de grava 10-12,5 mm 150 lombrices Caudal 1.5 m3/m2 d durante 20 días	(Tarun, Renu, K.S Hari, & Vikas, 2015)
<i>Eisenia foetida</i>	Escala piloto / Aguas residuales domesticas	DBO < 92% DQO < 74%	80 cm de largo, 40 cm de ancho y 80 cm de profundidad. 1ª capa – vermigratings maduro (600 – 800 µm) con 20 cm de altura. 2ª capa – arena (1 – 2 mm) con 15 cm de altura. 3ª capa – gravas pequeñas (6 – 8 mm) con 15 cm de altura. 4ª capa – grava grande y piedras (10 – 12 mm) de 15 cm altura. Espacio libre de 15 cm de altura.	(Sudipti, y otros, 2014)
<i>Eisenia foetida</i>	Escala laboratorio	DQO= 91,3%	Aserrín y lombrices de tierra Altura: 60 cm Caudal: 0,2 m3/m2d 50 gramos de lombrices de tierra. 7 días en cada experimentación	(Longmian, y otros, 2014)
<i>Eisenia foetida</i>	Escala piloto/ Agua residuales urbanas	DQO= 92,066%	37 cm* 57 cm 1ra capa- 10 cm lombrices-aserrín 2da capa- 10 cm antracita 3ra capa- 10 cm grava 4ta capa- 7 cm de piedra de rio Variación de caudales 0,050-0,147-0,450-0,614-0,846	(Ramón, León, & Castillo, 2015)



Tabla 5. (Continuación)

ESPECIE DE LOMBRIZ	ESCALA/ TIPO DE AGUA TRATADA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	CARACTERISTICAS BIOFILTRO	REFERENCIA
<i>Eisenia foetida</i>	Escala laboratorio/ Aguas residuales domésticas sintética	DBO = 90% DQO = 80%-90%	40 cm de largo, 40 cm de ancho y 115 cm de profundidad. 1ª capa – suelo-lombriz de tierra (6- 9 mm) con una profundidad de 30 cm. 2ª capa – arena (100 – 800 µm) con profundidad de 30 cm. 3ª capa – detrito (3 – 10 mm) con profundidad de 30 cm 4ª capa – adoquines ( 10 – 50 mm) con profundidad de 20 cm.	(Longmian, Zheng, Xingzhang, & Jibiao, 2011)
<i>Eisenia foetida</i>	Escala real/ Aguas residuales de una salmonera	DBO = 95% SS = 95%	Módulos de 25 m de largo, 10 m de ancho. Caudal de diseño = 25m <sup>3</sup> /h.	(Hernández, 2005)
<i>Eisenia foetida</i>	Escala real/ Aguas servidas	DBO = 95% SS = 95%	Módulos de 13 m de ancho, 55 m de largo y 1,5 m de altura. Caudal de diseño = 25,92m <sup>3</sup> /d	(Guzmán Sepúlveda, 2004)

Tabla 5. (Continuación)

ESPECIE DE LOMBRIZ	ESCALA/ TIPO DE AGUA TRATADA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	CARATERISTICAS BIOFILTRO	REFERENCIA
<i>Perionyx sansibaricus.</i>	Escala laboratorio/ Aguas residuales urbanas	SDT = 99,8% SST = 88,6% DQO = 90%	<p>De abajo hacia arriba</p> <p>Capa 1 – piedras grandes (10 – 15 cm de diámetro) altura de 12,5 cm.</p> <p>Capa 2 – pequeñas piedras y gravas (5 – 7 cm de diámetro) altura de 5,08 cm.</p> <p>Capa 3 - Una gruesa capa de aserrín de difusión en la red, altura 5,08 cm.</p> <p>Capa 4 – hojas de árbol secas, altura 5,08 cm.</p> <p>Red fina – Red de plástico fina (&lt;0,5 mm tamaño de poro).</p> <p>Capa 5 – Capa gruesa de tierra mezclada con pequeñas piedras y guijarros, junto con el sistema de la zona de raíz compleja de la planta <i>Cyprus rotundus</i>, altura de 25,4 cm.</p> <p>Capa 6 – compuesta por soporte de vegetación de superficie de <i>Cypre</i> de 10 – 15 cm de altura.</p> <p>Un segundo reactor</p> <p>Capa 1 - piedras de 10-15 cm de diámetro y altura 15,24 cm.</p> <p>Capa 2 - pequeños guijarros (5-7 cm de diámetro) mezclado con fina arena altura de 24,5 cm, que actua como la cama de lombrices.</p> <p>Capa 3 - <i>Cyperus rotundus</i> se plantaron en la capa superior</p>	(Priyanka & Surindra, 2011)

\*DQO: Demanda Química de Oxígeno, DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno, SDT: Sólidos Disueltos Totales, SST: Sólidos suspendidos totales, SS: Sólidos Sedimentables.

## 2.1 LOMBRICES DE TIERRA (*EISENIA FOETIDA*)

Las lombrices *Eisenia foetida* o también conocidas como lombrices rojas californianas consumen la materia orgánica de los afluentes residuales transformándolo por oxidación en anhídrido carbónico y agua<sup>12</sup>. De acuerdo a investigaciones realizadas, se concluyó que la especie de lombriz *Eisenia foetida* es la más adecuada para la experimentación debido a que genera mayor reducción de DQO de 86.53% y DBO de 87.16% comparado con lombrices de especie *Peryonix excavatus* y *Peruonix sansibaricus*<sup>13</sup>. En investigaciones anteriores realizadas a nivel laboratorio es sugerido que la densidad de las lombrices sea de 10.000 lombrices/m<sup>3</sup> de lombrifiltro<sup>14,15</sup>, teniendo en cuenta esta densidad y que el número de lombrices no varía respecto a la profundidad, sino respecto al área debido a que estas permanecen en la superficie en busca de oxígeno.

Un nivel adecuado en el que la lombriz presenta las mejores condiciones es a una temperatura entre 15 – 24 °C, una humedad entre 70 – 80 %, un pH entre 6.0 – 8.0, una conductividad eléctrica de 3.0 mmhos/cm y un porcentaje de proteínas entre 7.5 – 13%, también existe un rango adecuado en el cual las lombrices viven y unas condiciones de peligro de muerte como es observado en la tabla 6, el total de las lombrices va a depender de la cantidad de alimento que exista, todo residuo orgánico de origen animal o vegetal puede incorporarse como materia prima en la dieta alimenticia de la lombriz y consumen cada día el equivalente a su peso<sup>16</sup>.

Tabla 6. Parámetros del alimento de la lombriz *Eisenia Foetida*

Parámetro	Nivel Adecuado	Peligro de Muerte
Temperatura	15°–24°C	<5°C >37°C
Humedad	70 – 80 %	<70% >80%
pH	6.0 – 8.0	<4.5 >8.5
Conductividad eléctrica	3.0 mmhos/cm	>8.0 mmhos/cm
Proteínas	7,5% - 13%	<7.5% >18%

Fuente: (Hernández, 2005)

<sup>12</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. , p. 38

<sup>13</sup> RAJPAL, Ankur, et al. Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor. En: Ecological Engineering. vol. 73, p. 154-161, p. 156

<sup>14</sup> KUMAR, Tarun, et al. Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. En: Ecological Engineering. vol. 62, p. 77-82, p. 78

<sup>15</sup> KUMAR, Tarun, et al. Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. En: Ecological Engineering. vol. 75, p. 370-377 p. 371

<sup>16</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. p. 39

Hay que tener en cuenta que el aserrín que debe ser usado para la cama de las lombrices debe ser preferiblemente de madera blanca debido a que el que proviene de madera roja contienen un alto porcentaje de taninos y lignina. El tanino actúa como veneno para la lombriz<sup>17</sup>.

## 2.2 TEMPERATURA

En este caso la temperatura manejada fue la ambiente debido a que el nivel adecuado para las lombrices esta entre 15° – 24°C.

## 2.3 MATERIALES DE RELLENO

Los materiales a usar fueron definidos por la efectividad que tuvieron en los diferentes estudios, los materiales con mayor porcentaje de remoción con respecto a DBO: 96%, fueron antracita (6 – 8 mm), grava (1 – 2 mm) y piedras de río,<sup>18</sup> otro estudio mostro que al usar arena (100 – 800 µm), detrito (3 – 10 mm) y adoquines (10 – 50 mm) obtuvo un porcentaje de remoción con respecto a DBO: 90%<sup>19</sup>, así pues, se decidió usar antracita, grava y piedras de río.

## 2.4 ALTURA DE LAS CAMAS

La proporción está dada por la profundidad de las capas [lombrices con aserrín: antracita: grava: piedra de rio], según estudios anteriores bajo las condiciones de proporción [1:2:1:1] el porcentaje de reducción fue de DQO: 96%, SST: 90%, SDT: 82%<sup>20</sup> está siendo la proporción con mayor remoción; en proporción [1:1:1:0.7] el porcentaje de reducción fue de DQO: 92.066%<sup>21</sup> y en proporción [1.33:1:1:1] el porcentaje de remoción fue de DQO < 74%, DBO < 92%<sup>22</sup>, concluyendo que la mejor opción de proporción respecto al porcentaje de remoción es [1:2:1:1].

---

<sup>17</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. p. 41

<sup>18</sup> KUMAR, Tarun, et al. Performance Evaluation of Vermifilter at Different Hydraulic Loading Rate using River Bed Material. Elsevier, 2014. p. 77-82

<sup>19</sup> WANG, Longmian, et al. Performance and mechanisms of a microbial-earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater. En: Journal of Hazardous Materials. vol. 195, p. 245-253

<sup>20</sup> Kumar, Tarun, et al. Op. site, p. 81

<sup>21</sup> RAMÓN, Jacipt Alexander; LEÓN, José Alejandro y CASTILLO, Nelson. Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida. En: Mutis. vol. 5, no. 1, p. 46-54 p. 52

<sup>22</sup> ARORA, Sudipti, et al. Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system. En: Bioresource Technology. vol. 166, p. 132-141 p. 135

## 2.5 CAUDAL

Para el caudal fue tenido en cuenta una velocidad de carga hidráulica de 2.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d, la cual fue la mejor con respecto a otras tres velocidades (1.5, 2, 2.5 y 3,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d) estudiadas, debido a que esta tuvo una eficiencia de eliminación con respecto al DBO del 96%<sup>23</sup>; con esta tasa de carga hidráulica resulta un caudal de 0.086 L/min, en la presente experimentación fue obtenido un caudal de 0.075 L/min, que fue verificado únicamente al inicio de la experimentación y no en el transcurso de la misma, debido a que este no pudo ser controlado de una manera adecuada.

Finalmente, la construcción del lombrifiltro de vidrio tuvo un área de 20 cm de largo y 25 cm de ancho, el cual estuvo compuesto de 4 lechos filtrantes una primera capa de 5 cm de aserrín combinado con 150 lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), la segunda capa de 10 cm de antracita de 0.2 cm de diámetro, la tercera capa de 5 cm de grava de 0.4 cm de diámetro y una capa final de 5 cm de piedra de río de 0.7 cm de diámetro, a través del cual circuló el agua residual, al mismo tiempo fue construido un geofiltro semejante a este pero con la diferencia de que este no llevaba lombrices en la primera capa (Figura 2 y figura 3), el sistema funcionó con un caudal del 0.075L/min (Tabla 7), siendo este verificado únicamente al inicio de la experimentación y no en el transcurso de esta.

Tabla 7. Parámetros usados en los filtros (lombrifiltro y geofiltro)

Parámetro	Lombrifiltro	Geofiltro
Lombrices de tierra	<i>Eisenia foetida</i> (150 lombrices)	-
Materiales	Antracita – Grava – Piedras de río	
Altura de las camas (cm)	5:10:5:5	
Caudal (L/min)	0.075	
Temperatura	Temperatura ambiente	

<sup>23</sup> <sup>23</sup> KUMAR, Tarun, et al. Performance Evaluation of Vermifilter at Different Hydraulic Loading Rate using River Bed Material. Elsevier, 2014. p. 77-82 p. 77

Figura 2. Biofiltro construido

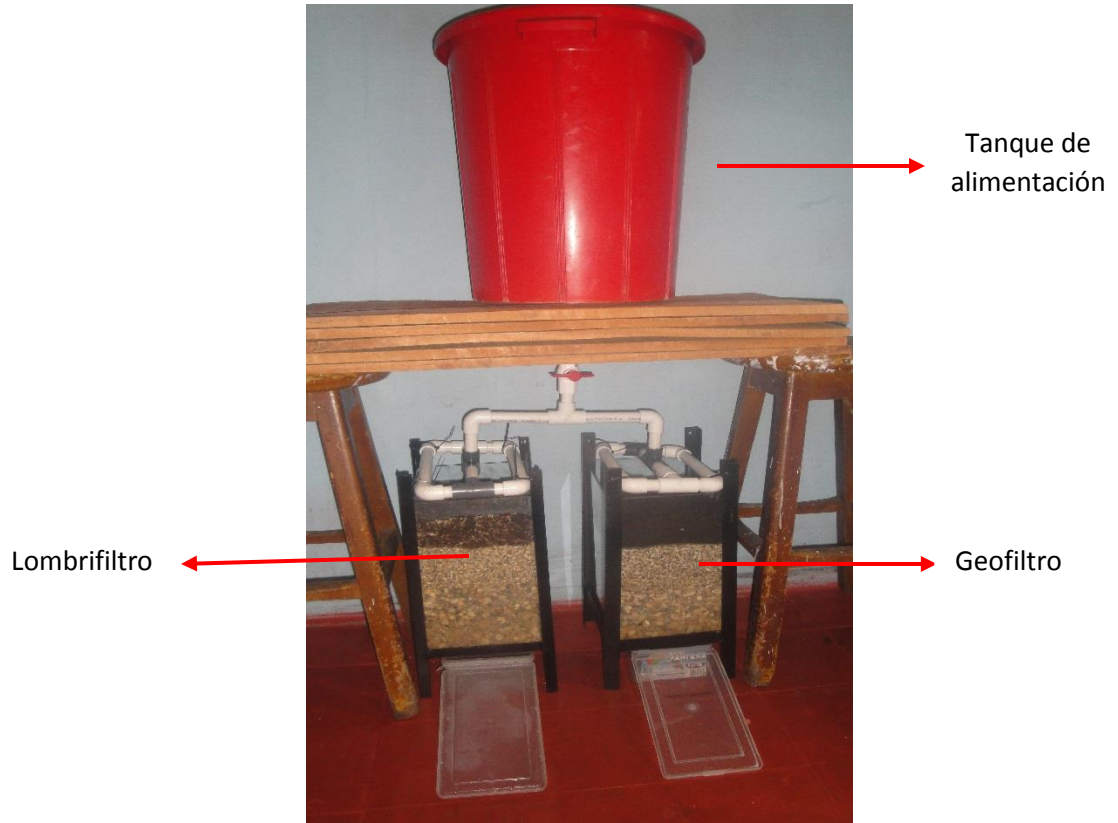
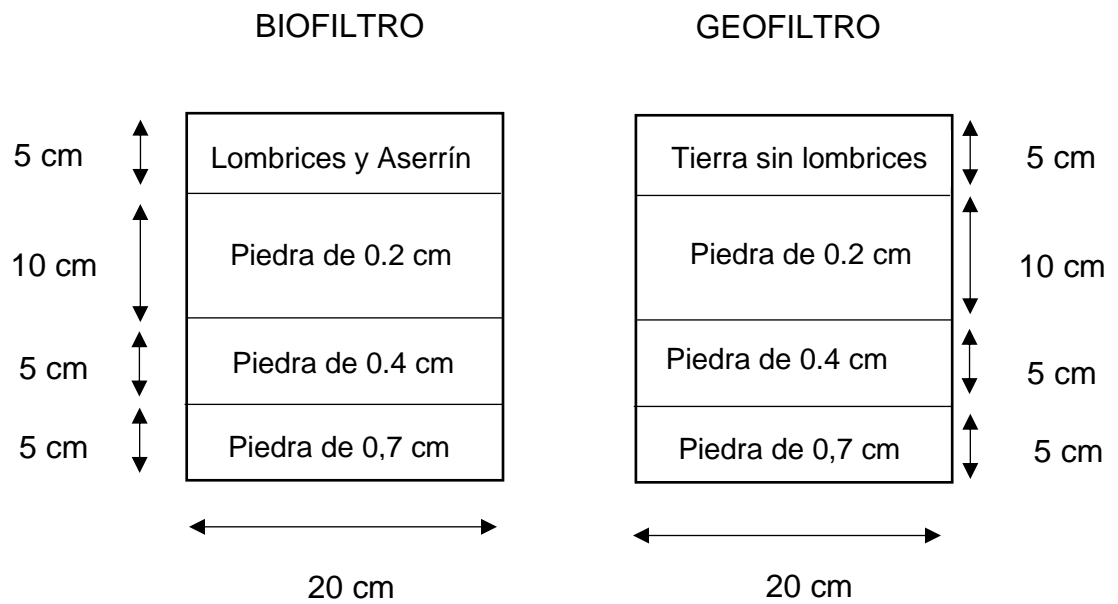


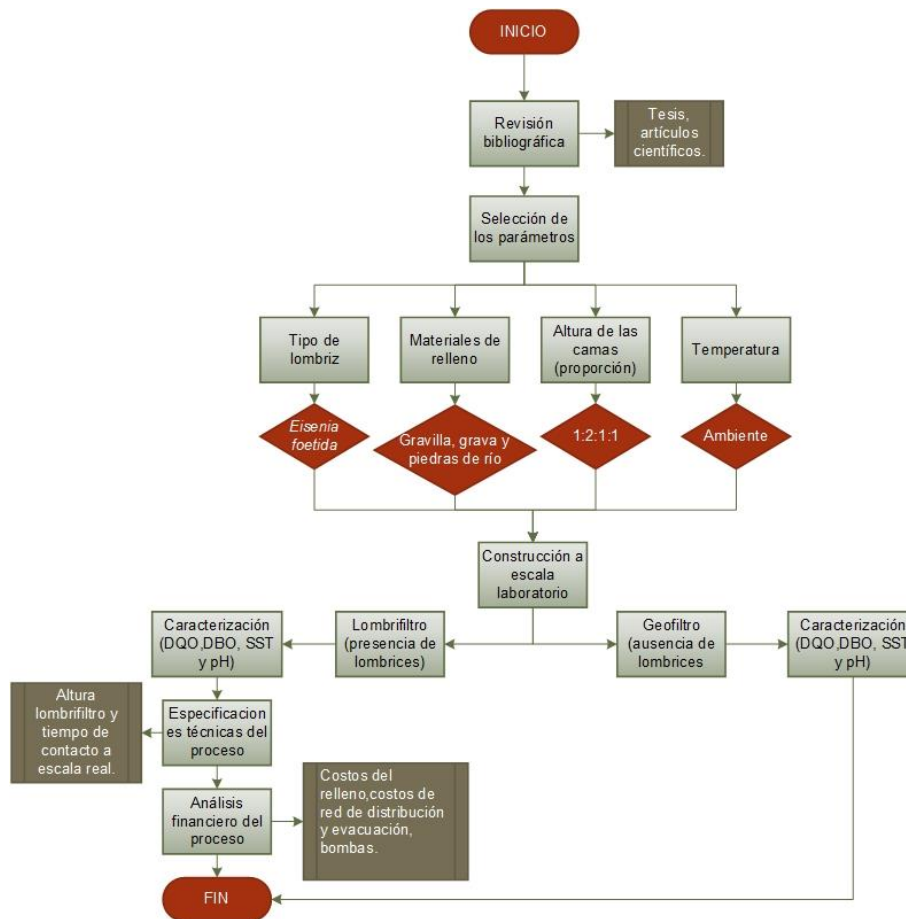
Figura 3. Esquema lombrifiltro y geofiltro



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

En primer lugar, se seleccionaron los parámetros de diseño del biofiltro, basado en investigaciones anteriores, tales como la altura y los materiales de los lechos filtrantes, cantidad y tipo de lombrices y tamaño del biofiltro que tuvieron como resultado un único diseño a nivel laboratorio en el que se realizó la evaluación del sistema de depuración biológica con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) acompañado de un blanco llamado geofiltro, que permitió ver el efecto de las lombrices en este sistema, para ello fue necesaria la recolección del agua residual procedente de una industria láctea y la adaptación de las lombrices *Eisenia foetida*, pues se requiere que estas se alimenten de la materia orgánica que contiene el agua residual utilizada en el tratamiento, posterior a esto y pasado 30 días de tratamiento, se realizó la caracterización del agua residual tanto del agua residual sin tratar como las muestras obtenidas cada semana durante el tratamiento, mediante los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, pH, sólidos sedimentables (SSEV) y sólidos suspendidos totales (SST) (figura 4)

Figura 4. Etapas del proceso



La caracterización del agua residual se realizó a los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, pH, sólidos sedimentables (SS) y sólidos suspendidos totales (SST).

### 3.1 EVALUACIÓN DEL BIOFILTRO

El agua fue obtenida de la empresa de Lácteos Pasco, esta empresa facilitó 750 L/semana del agua residual del proceso, fue mantenida a temperatura ambiente y agregada al tanque de alimentación hacia los filtros (lombrifiltro y geofiltro), la cual tuvo un caudal de 0.075 L/min, finalmente las muestras eran tomadas cada semana durante cinco semanas.

### 3.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

3.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ). Se utilizaron botellas de incubación de 300 mL con tapón de vidrio esmerilado (Figura 5) para poder realizarlo por el método de ensayo de DBO a los 5 días, el cual consistió en agregar 2mL de la muestra y llenar con agua de dilución hasta rebosar una botella que fue encubada a la temperatura específica ( $20^{\circ}C$ ) durante 5 días donde fue medido el oxígeno inicialmente y después de la incubación con un multi-parámetro y se calcula el DBO por diferencia de oxígeno disuelto (OD).<sup>24</sup>

Figura 5. Botellas de incubación con muestras



3.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO). Se utilizó el método de reflujo cerrado donde fue sometido a reflujo la muestra en una solución de ácido fuerte con exceso conocido de dicromato de potasio, después de la digestión el dicromato de potasio restante no reducido fue titulado con sulfato ferroso amoniacado para determinar la cantidad de dicromato de potasio no consumido, fue puesto en un reactor DQO por 2h (Figura 6) para obtener un cambio de color y ser medida la materia orgánica oxidable la cual fue calculada en términos del equivalente de oxígeno. Para esta prueba el agua fue conservada con ácido sulfúrico concentrado al 98%.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 3630. Bogotá, D.C.: 2002.

<sup>25</sup> IDEAM. Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado. Bogotá D.C.: 2007.



Figura 6. Calentamiento de muestras en el reactor DQO



3.2.3 Grasas y aceites, Se empleó el método B. gravimétrico de partición donde se extrae el aceite o la grasa disueltos mediante contacto íntimo con el solvente de extracción (n-hexano) en un embudo de decantación (Figura 7), algunas sustancias extractables, especialmente aceites y grasas insaturados se oxidan fácilmente, por lo tanto, para evitar el desplazamiento de vapores de solvente y así minimizar este efecto la experimentación fue realizada en una cabina de extracción.<sup>26</sup>

Figura 7. Método B. gravimétrico



3.2.4 pH. Se utilizó un pHmetro, con el cual es manejado el método electrométrico que es basado en la determinación de la cantidad de iones hidrogeno por medición potenciométrica utilizando un electrodo de hidrogeno estándar y un electrodo de referencia.<sup>27</sup>

3.2.5 Sólidos sedimentables (SSEV). Se realizó por ensayo volumétrico el cual solo requirió de un cono imhoff, consistió en llenar el cono imhoff hasta la marca

<sup>26</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 3362. CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DE ACEITES, GRASAS Y SUSTANCIAS SOLUBLES EN SOLVENTES ORGÁNICOS. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ed. Bogotá D.C.: 2005.

<sup>27</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 3651. CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DEL pH. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ed. Bogotá, D.C.: 1994.

de 1 L (Figura 8), la muestra sedimenta por 45 minutos y fue agitada cerca de las paredes del cono con un agitador de vidrio, sedimenta por 15 minutos más y finalmente se registró el volumen de sólidos en mL/L.<sup>28</sup>

Figura 8. Prueba sólidos sedimentables



3.2.6 Sólidos suspendidos totales (SST). Los materiales utilizados consistieron en: embudo büchner, erlenmeyer con desprendimiento lateral, papel filtro, horno de secado y fuente de vacío. Se calculó mediante la filtración de una mezcla homogénea a través de un filtro estándar de fibra de vidrio posteriormente evaporación del filtrado hasta sequedad en el papel filtro pesado y seco hasta peso constante a 180°C, el aumento en el peso del papel filtro representó los sólidos totales disueltos.

---

<sup>28</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 897. CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ed. Bogotá, D.C.: 1994.

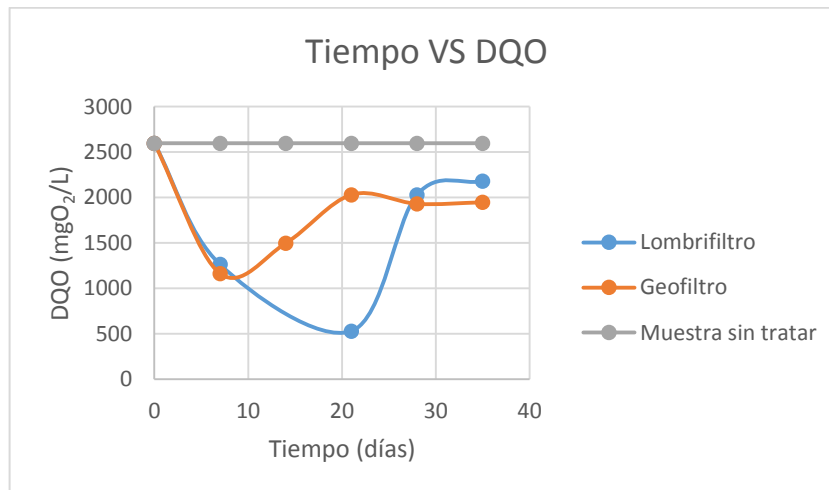
## 4. ANÁLISIS DE DATOS DEL TRATAMIENTO

Para el efluente recogido fueron analizados los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y grasas y aceites, también fue necesario la cuantificación de las lombrices de tierra al inicio y al final de la experimentación.

### 4.1 DQO

Antes del tratamiento el agua residual tuvo un DQO de 2598 mgO<sub>2</sub>/L, como es observado en la gráfica 1, al transcurrir 21 días el tratamiento alcanza la mayor disminución de materia orgánica siendo esta de un 79.56%, luego a los siguientes días la muestra tuvo un aumento en la materia orgánica, esto debido a que las muestras de agua son de diferentes días las características no son las mismas y estas contienen mayor contaminación, también se debe a que el humus de las lombrices no fue retirado en la experimentación y que se produjo un arrastre de tierra a las otras capas de los filtros y este salía en la muestra final.

Gráfica 1. Tiempo Vs DQO



### 4.2 DBO

El comportamiento del DBO es normal en este tipo de ensayos (figura 9), en el geofiltro es normal que inicialmente el DBO aumente debido a que se está arrastrando el sustrato que no es consumido por la ausencia de lombrices y se ve reflejado en los primeros 14 días, un aumento después del día 14 del DBO en lombrifiltro es consecuencia del humus producido por las lombrices que es acumulado en la capa superior y en los días posteriores es arrastrado hasta el

final del tratamiento, hasta conseguir estabilización; la cantidad mínima de materia orgánica medida con DBO después del tratamiento fue de 318 mgO<sub>2</sub>/L por parte del geofiltro a los 7 días y la máxima reducción que se obtuvo en el lombrifiltro fue de 325 mgO<sub>2</sub>/L a los 14 días como es observado en la gráfica 2.

Gráfica 2. Tiempo Vs DBO

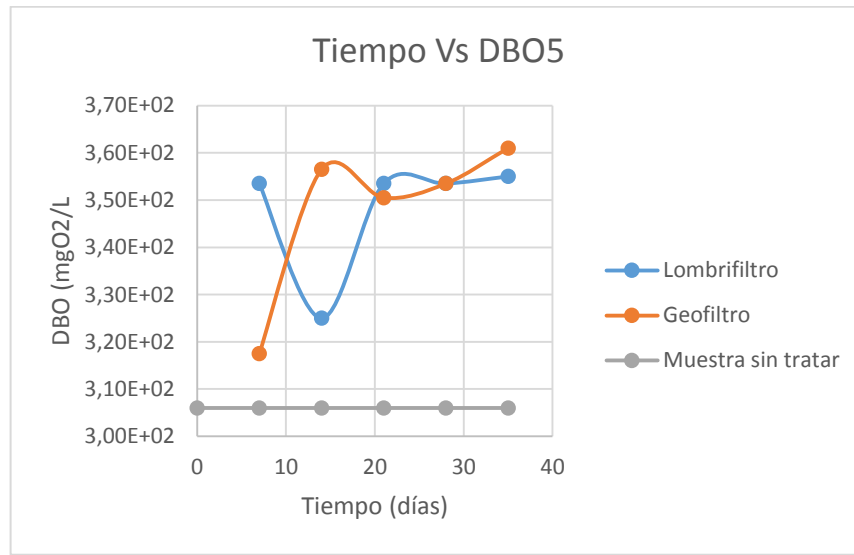
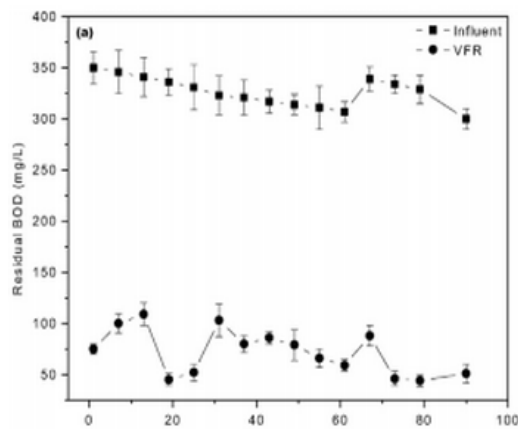


Figura 9 – Comportamiento del DBO



Fuente: Kumar Tarun y otros<sup>29</sup>

<sup>29</sup> KUMAR, Tarun, et al. Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. En: Ecological Engineering. vol. 75, p. 370-377. p. 373.

#### 4.3pH

Este tuvo un pH autogenerado con un valor inicial de 3.53, al pasar los primeros 8 días la acidez del agua disminuyó siendo de 4.56 en el lombrifiltro y 4.51 en el geofiltro; después de los siguientes 8 días tuvo una menor disminución siendo este valor de 4.43 en el lombrifiltro y 4.49 en el geofiltro. Este parámetro no fue controlado antes del tratamiento debido a que este estudio no implicaba ningún pre-tratamiento, también fue uno de los causantes de la disminución de la población de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*).

#### 4.4 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

En el caso de los sólidos sedimentables desde la muestra inicial tuvo una baja cantidad de estos siendo de 0.2mL/L, pasada la primera semana tanto en el lombrifiltro como en el geofiltro la cantidad de sólidos fue < 0.1, por esta razón no se siguió realizando el estudio de este parámetro debido a que la sensibilidad del método no permite una medición menor.

Con respecto a los parámetros sólidos suspendidos totales y grasas y aceites solo fue realizada la primera prueba debido a que desde un comienzo ya cumplían con el límite máximo permisible de la Resolución 0631 de 2015, siendo de 30 mg/L y 18.5 mg/L respectivamente.

#### 4.5 LOMBRICES DE TIERRA

La población inicial en el lombrifiltro fue de 150 lombrices, al transcurrir los 35 días de operación del sistema quedaron 134, esto se dio porque al agua residual alimentada al tratamiento tuvo un pH autogenerado y también porque las lombrices se desplazaron hacia las diferentes capas del lombrifiltro y salían por el efluente.

Estos resultados teniendo en cuenta los análisis del agua residual inicial, los cuales sus resultados se observan en la tabla 8.

Tabla 8. Condiciones de entrada del agua residual al tratamiento

Parámetros	Condiciones de entrada
DQO	2597.67 mgO <sub>2</sub> /L
DBO	903 mgO <sub>2</sub> /L
pH	3.53
Sólido Sedimentables	0.2 mL/L
Sólidos suspendidos totales	30 mg/L
Aceites y grasas	18.5 mg/L
Lombrices de tierra	150 lombrices

## 5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A ESCALA REAL

El dimensionamiento fue realizado para la planta de tratamiento de aguas de lácteos Pasco, actualmente cuenta con un tratamiento en el que primero, el agua es almacenada en un tanque buffer en donde es dosificado hidróxido de sodio para neutralizar, luego una trampa de grasas de 4 etapas con dosificación de bacterias lipofílicas, posterior a esto 4 tanques con dosificación de otras bacterias y filtros, para finalmente pasar por 2 tanques con lecho filtrante de arena y piedras.

La primera parte de la implementación de este proyecto de tratamiento de aguas a la industria Pasco, cuenta con un pre-tratamiento de sólidos que es necesario para que no ocurra obstrucción en la tubería de distribución del agua, y un estanque decantador de hormigón donde es necesario una trampa de grasas y aceites, el cual no es caso de estudio para este proyecto, por donde el afluente pasara antes del biofiltro y este será un único tratamiento pues no requiere de tratamiento primario, secundario ni terciarios como sucede en los tratamientos convencionales, el mismo tanque en el que se hará la impulsión para la red de distribución hacia los aspersores, tomando en cuenta la eficiencia del biofiltro para tratar un metro cubico de agua residual se requiere un metro cuadrado efectivo de biofiltro (ecuación 1) está eficiencia, fue determinada por la Fundación para la Transferencia Tecnológica, y son valores totalmente comprobados y corroborados por este organismo .<sup>30</sup> En lácteos Pasco el caudal por día es de 26.53 metros cúbicos y aproximando este valor se encontró que el área necesaria para tratar el agua de la empresa de 27 metros cuadrados.

$$\text{Eficiencia del Biofiltro} = \frac{1\text{m}^3\text{de agua tratada}}{1\text{m}^2\text{efectivo de biofiltro}}$$

Ecuación 1. Eficiencia del biofiltro

Esta Planta funcionará con un régimen de caudal continua durante 365 días al año como lo hace habitualmente con unas condiciones de entrada que comúnmente constan de materia orgánica, principalmente proteínas, grasas y lactosa, además trazas de productos químicos procedentes de la limpieza de los equipos.

---

<sup>30</sup> GUZMÁN SEPÚLVEDA, Marcelo Gustavo. Estudio De La Factibilidad De La Aplicación Del Sistema Toha En La Planta De Tratamiento De Agua  
Js Servidas De Valdivia. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2004. p. 53

Para seguir con el dimensionamiento se tuvo en cuenta que este sistema es un filtro percolador, esta unidad no realiza un proceso de filtración propiamente dicho, se trata de una torre de contacto en la que el agua residual escurre, desde arriba, por un lecho fijo en el que la biomasa se encuentra adherida y sin contemplar recirculación<sup>31</sup>, con los datos obtenidos en la experimentación a nivel laboratorio (Tabla 8), la ecuación 2 es el modelo de Eckenfelder de los filtros percoladores sin recirculación que relaciona el porcentaje de remoción de DQO remanente ( $S_e/S_i$ ) con la profundidad del lombrifiltro (D) y la carga hidráulica ( $Q_v$ )<sup>32</sup> y usando un caudal de 26.53 m<sup>3</sup>/d, que es en promedio el generado por la planta de lácteos Pasco, fue encontrada la profundidad del lombrifiltro.

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp[-K_{20}D(Q_v)^{-n}]$$

Ecuación 2. Determinación de la altura del lombrifiltro

Se: DQO total del efluente del filtro decantado, mg/L

Si: DQO total del agua residual afluente al filtro, mg/L

K<sub>20</sub>: Constante de tratabilidad correspondiente a una determinada profundidad del medio filtrante (D) a 20°C

D: Profundidad del lombrifiltro, m

Q<sub>v</sub>: Caudal volumétrico aplicado por unidad de superficie del lombrifiltro (Q/A), m<sup>3</sup>/h\*m<sup>2</sup>

Q: Caudal total aplicado al lombrifiltro sin tener en cuenta la recirculación, m<sup>3</sup>/h

A: Superficie del lombrifiltro, m<sup>2</sup>

n: Constante empírica, 0.5

Con esta fórmula se encontró la profundidad del lombrifiltro, con los datos obtenidos de la experimentación.

Se= 2181 mgO<sub>2</sub>/L

Si= 2597.66667 mgO<sub>2</sub>/L

<sup>31</sup> Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Módulo didáctico. Bogotá. [Consultado el 05/212016]. Disponible en:

<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/index.html>

<sup>32</sup> R.S Ramalho. Filtros percoladores. España. [Consultado el 05/212016]. Disponible en:

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/PERCOLADORES.pdf>

$$K_{20} = 0.25 \text{ a } 2.51 \text{ (m}^3\text{d)}^{-0.5}$$

$$Q_v = 1.1052 \text{ m}^3\text{/h} / 27 \text{ m}^2 = 0.041 \text{ m}^3\text{/h} \cdot \text{m}^2$$

$$Q = 26.5248 \text{ m}^3 / \text{día} = 1.1052 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$A = 27 \text{ m}^2$$

$$n = 0.5$$

$$D = \frac{\ln \frac{S_e}{S_i}}{-K_{20}(Q_v)^{-n}}$$

$$D = \frac{\ln \frac{531}{2597.667}}{-0.25 * (0.041)^{-0.5}} = 1.28 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta esta profundidad se procedió a hallar el tiempo de contacto que va a haber entre el material utilizado (piedras de río) y el agua residual, esto se realiza con la siguiente ecuación<sup>33</sup>:

$$t = \frac{C' * A_v^m * D}{Q^n}$$

Ecuación 3. Tiempo de contacto

Donde,

C': constante, 0.70

A<sub>v</sub>: superficie específica del medio

m: exponente, 0.75

D: profundidad del filtro, m

Q: caudal, m<sup>3</sup>/h

n: exponente, 0.33

$$t = \frac{0.70 * 27^{0.75} * 1.28}{1.1052^{0.33}} = 10 \text{ h } 18 \text{ min}$$

---

<sup>33</sup> ECKENFEKDER, W. Wesley. Biological Wastewater Treatment Processes. En: Mc Graw Hill. Industrial Water Pollution Control. Mc Graw Hill, 2001. p. 313. ISBN 7 - 302 - 05134 - 8



Con esto, el lombrifiltro deberá tener una altura de 1.28 m y un tiempo de contacto de 10h 18min; constituido de 4 capas que llevara la proporción de la experimentación a nivel laboratorio (1:2:1:1) la primera capa consta de la población de lombrices mezclado con aserrín, esta altura es modificada dependiendo de los factores climáticos de la zona donde se instalara y el tipo de material de la capa principal,<sup>34</sup> el número de lombrices se determina de la misma manera que en la experimentación, dando como resultado para estas dimensiones 1620 kilogramos de lombrices.

La segunda capa de piedra de río de aproximadamente 0.2 centímetros, una tercera de piedra de río de aproximadamente 0.4 centímetros y la capa final de piedra de río de aproximadamente 0.7 centímetros. Para el sistema de drenaje por gravedad del agua ya tratada se evacuará por un canal central que lleva el agua al exterior del estanque de agua. Además, es necesario ubicar aireadores por el lombrifiltro pues en este viven bacterias aerobias necesarias para el funcionamiento del sistema de depuración.

### 5.1 RED DE DISTRIBUCIÓN

Las tuberías principales irán al nivel del terreno con 4" de diámetro conectada a una válvula de compuerta, además, con conexión bridada que permite subir por la última capa del lombrifiltro, entrar al muro y descansar en forma horizontal sobre esta capa hasta llegar a la mitad y luego estas se conectan con tuberías verticales hasta llegar al aspersor de círculo completo con un diámetro de cobertura suficiente para cubrir todo el lombrifiltro ubicado en la parte superior de este el cual es el encargado de la alimentación del agua al sistema. Además, contará con dos bombas tipo centrifuga con una capacidad máxima de 37 gpm: una en operación y otra en stand-by, las cuales deben ser en bronce, debido a que este cuenta con buena resistencia a la corrosión.

### 5.2 RUTA DE EVACUACIÓN

Como ya había sido mencionada la ruta de evacuación será realizada por el centro del lombrifiltro pues el agua asperjada en la superficie por efecto de la gravedad llega hasta el suelo del lombrifiltro y esta es guiada mediante una tubería de PVC de 6" junto con una válvula de compuerta hasta el final del tratamiento.

### 5.3 REMOCIÓN DEL HUMUS

El humus generado por las lombrices debe ser retirado de la parte superior del lombrifiltro, esto según la necesidad, se recomienda que sean los 5 cm superiores y la cantidad retirada debe ser remplazada por aserrín. Para realizar esta

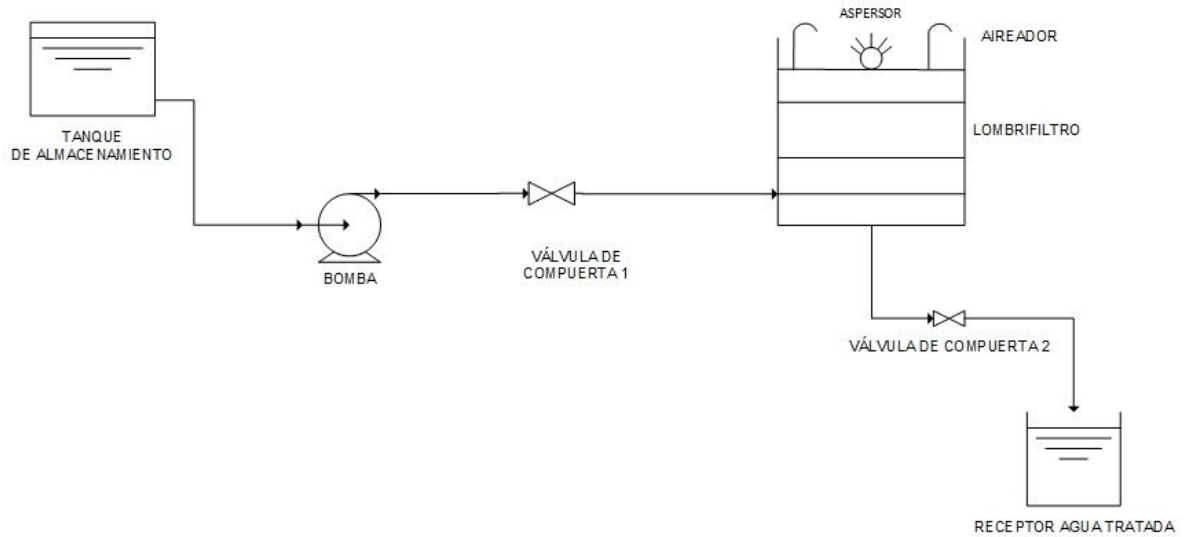
---

<sup>34</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. p. 41

operación se debe cortar el riego para que la zona se seque y sea más fácil retirar el humus, esto debe ser realizado manualmente<sup>35</sup>.

Teniendo en cuenta lo anterior, la distribución de la planta de tratamiento de aguas quedaría como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Distribución de la planta de tratamiento de aguas



<sup>35</sup> BÓRQUEZ, YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC SA. p. 53

## 6. VALORACIÓN DEL PROYECTO

### 6.1 ANÁLISIS DE COSTOS

En este punto se determinó el presupuesto de la aplicación del sistema de depuración biológica con lombrices de tierra *Eisenia foetida* para Lácteos Pasco, para esta valoración se tiene en cuenta la construcción del lombrifiltro, el relleno y las rutas de tuberías, no se tiene en cuenta consideraciones técnicas de construcción ni el costo del terreno.

Para los precios unitarios fueron tomados de varias fuentes, en primera instancia en la parte de construcción se consultó con una empresa de Ingeniera Civil, además, se realizaron cotizaciones por vía telefónica de los materiales utilizados en el relleno y en la construcción de los conductos de agua que al final fueron las fuentes necesarias para el presupuesto oficial.

6.1.1 Costos de construcción. Esto costos están dados por las dimensiones del proyecto mencionados en el capítulo 5 y los precios fueron consultados con un Ingeniero Civil y serán mostrados en forma de resumen en la tabla 9.

Tabla 9. Costos de construcción del lombrifiltro

Especificaciones	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Excavación	m <sup>3</sup>	34.56	18.000	622.080
Concreto reforzado	m <sup>2</sup>	27	208.200	5.621.400
Aceros de esfuerzo	m <sup>2</sup>	27	14.700	396.900
Estucos impermeabilizados	m <sup>2</sup>	27	149.900	4.047.300
Malla Acma	m <sup>2</sup>	27	10.390	280.530
Mano de obra	días	5	30.000	150.000
			TOTAL	11.118.210

6.1.2 Relleno del lombrifiltro. En consecuencia del dimensionamiento y las cotizaciones realizadas se obtienen los datos de las cantidades de los materiales necesarios para la construcción del lombrifiltro (tabla 10).

Tabla 10. Costos de relleno del lombrifiltro

Especificaciones	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Lombrices	Kilogramo	1.620	6.000	9.720.000
Aserrín	Kilogramo	540	2.000	1.080.000
Piedra de 0,2 cm	Kilogramo	3.780	400	1.512.000
Piedra de 0,4 cm	Kilogramo	18.900	400	7.560.000
Piedra de 0,7 cm	Kilogramo	18.900	400	7.560.000
Mano de obra	Días	5	150.000	750.000
			TOTAL	28.182.000

6.1.3 Red de distribución y evacuación. Está dada por el dimensionamiento y por cotizaciones de instrumentos específicos como son las válvulas de compuertas y el aspersor de círculo completo (tabla 11) incluidos en el Anexo A.

Tabla 11. Costos de la red de distribución y evacuación

Especificaciones	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Tubería de distribución 4"	Metros	40	24.525	981.000
Tubería de evacuación 6"	Metros	10	51.936	519.360
Tubería de aireación 4"	Metros	17	24.525	416.925
Codos de distribución	N°	3	12.652	37.956
Codos de evacuación	N°	3	108.068	324.204
Válvula de distribución	N°	1	862.000	862.000
Válvula de evacuación	N°	1	862.000	862.000
Aspersores	N°	1	58.000	58.000
			TOTAL	4.061.445

6.1.4 Bombas. Para la función del desplazamiento del agua por la tubería es necesario una bomba sumergible tipo centrifuga y otra con las mismas

características por si la primera no funciona (tabla 12), en el Anexo A se incluye las especificaciones de las mismas.

Tabla 12. Costos de las bombas

Especificaciones	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Total (\$)
Bomba operación	Nº	1	269.004	269.004
Bomba stand- by	Nº	1	269.004	269.004
			TOTAL	538.008

Con estos datos se obtiene un presupuesto total necesario para el montaje del proyecto para la planta de producción de Lácteos Pasco obteniendo un total de \$42.761.655.

## 6.2 COMPARACIÓN CON UN TRATAMIENTO CONVENCIONAL

Se realizó la comparación con respecto a un estudio de un tratamiento convencional que contaba con los costos de inversión del sistema y además con los gastos anuales necesarios. Este costo en el año 2013 fue de \$26.120.035 (tabla 13), al llevarlo a un valor presente neto, teniendo en cuenta el porcentaje de inflación del 2014 a julio del presente año, este tratamiento para llevarlo a cabo en el año en curso es de \$ 31.395.300.

Tabla 13. Costos totales de inversión de un tratamiento convencional

PARÁMETRO	COSTO (\$)
Costos de insumos	24.009.502
Costos de operación	665.347
Costos de mano de obra	1.439.186
Costos de instalación	6.000
TOTAL	26.120.035

Fuente: Barón Quevedo<sup>36</sup>

El valor de inversión es menor en el tratamiento convencional con respecto al requerido por el lombrifiltro, pero hay que tener en cuenta, que en la nueva alternativa no se requieren insumos químicos para su funcionamiento, siendo así, la empresa tendría un ahorro anual aproximado de \$ 27.941.443, teniendo en cuenta, que este valor es el valor presente neto de los insumos en el 2016.

<sup>36</sup> BARÓN QUEVEDO, Christian Giovanni y SILVA, Angela Sofía. Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Productos Lácteos Pasco. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2013. p. 103

## 7. CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de depuración biológica con lombrices de tierra *Eisenia foetida* para la construcción a nivel laboratorio fue en vidrio con un área de 20 cm de largo y 25 cm de ancho, el cual estuvo compuesto de 4 lechos filtrantes con una proporción de las capas siendo la mejor opción 1:2:1:1, una primera capa de 5 cm de aserrín combinado con 150 lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en una proporción de 3:1, la segunda capa de 10 cm de antracita de 0.2 cm de diámetro, la tercera capa de 5 cm de grava de 0.4 cm de diámetro y una capa final de 5 cm de piedra de río de 0.7 cm de diámetro, al mismo tiempo fue construido un geofiltro semejante a este pero con la diferencia de que este no llevaba lombrices en la primera capa.
- Con respecto a porcentaje de remoción en DQO fue de 79.56% su máximo valor en el lombrifiltro a los 21 días de iniciada la experimentación y de 55.18% en el geofiltro a los 7 días, pero en ambos sistemas después de haber obtenido la máxima remoción, aumentó el contenido de materia orgánica debido al arrastre de sustrato hacia el efluente. No se obtuvo reducción de la materia orgánica medida como DBO respecto al valor de la muestra sin tratar, sin embargo, el comportamiento al transcurrir el tiempo fue similar a la estudiada por los autores Kumar Tarun y otros <sup>37</sup>.
- Al realizar el dimensionamiento a escala real fue encontrado que se requiere un área de 27 m<sup>2</sup>, una altura de 1.28 m y un tiempo de contacto de 10h 18min, teniendo en cuenta también la proporción de las capas y los materiales usados en la experimentación a nivel laboratorio.
- Finalmente, el costo total del sistema para llevarlo a cabo con respecto a montaje y puesta en marcha a escala real es de \$ 42.761.655.
- Al evaluar el tratamiento en aguas residuales de industrias lácteas con un sistema de depuración con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) se encuentra este tratamiento sirve para reducir la materia orgánica medida como DQO, sin embargo, no se obtuvo disminución de la materia orgánica medida como DBO.
- El agua residual después de pasar por el lombrifiltro no cumple con los valores límites máximos permisibles de los parámetros estipulados en la Resolución

---

<sup>37</sup> KUMAR, Tarun, et al. Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. En: Ecological Engineering. vol. 75, p. 370-377

0631 de 2015 con respecto a DQO, DBO y pH, siendo el mínimo valor de cada uno respectivamente: 531 mgO<sub>2</sub>/L, 325 mgO<sub>2</sub>/L y 4.43.

## 8. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se sugiere que el caudal tenga un sistema de control adecuado para que este no varíe con la altura del tanque de alimentación y que garantice la constancia del mismo pues la humedad depende del caudal y un aumento de este no es beneficioso para el crecimiento de la lombriz, además de la mano con esto se puede realizar una investigación que involucre una variación en el caudal y su influencia en la eficiencia de remoción.
- El pH es un parámetro que debe ser controlado con un pre-tratamiento con un agente de estabilización de pH para asegurar las condiciones necesarias de supervivencia de las lombrices y asegurar un mejor rendimiento de la población microbiana.
- Hay que tener en cuenta que para este tipo de tratamiento debe contarse con un sistema de rejillas y una trampa de grasas y aceites antes de que el afluente pase por el lombrifiltro debido a que los sólidos pueden taponar el sistema y que las lombrices no pueden tener tanta cantidad de grasas en su alimento por lo que este puede otra causa de la reducción de la población.
- Es recomendable que se evalué el efecto de la inclusión de aireación en el tratamiento para la mejora del proceso teniendo en cuenta que los microorganismos son seres aeróbicos que necesitan del aire para vivir y a la ausencia del aire tiene como consecuencia la muerte de ellos.
- Aplicar procesos de retrolavado para remover la saturación de los sistemas de filtración.



## BIBLIOGRAFÍA

ARORA,Sudipti, et al. Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. vol. 166, p. 132-141, 2014.

AYALA OVALLE,Lady Camila y ORTIZ,Luz Dary. Propuesta Para La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Empresa Schapeli S. A. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2015.

BARÓN QUEVEDO,Christian Giovanni y SILVA,Angela Sofía. Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Productos Lácteos Pasco. Bogotá, D,C.: Fundación Universidad de América, 2013.

BÓRQUEZ,YESSICA PAMELA HERNÁNDEZ. ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC S.A., 2005.

ECKENFEKDER,W. Wesley. Biological Wastewater Treatment Processes. En: Mc Graw Hill. Industrial Water Pollution Control. Mc Graw Hill, 2001. 313 p. ISBN 7 - 302 - 05134 - 8

GUZMÁN SEPÚLVEDA,Marcelo Gustavo. Estudio De La Factibilidad De La Aplicación Del Sistema Toha En La Planta De Tratamiento De Aguas Servidas De Valdivia. Valdivia.: Universidad Austral de Chile, 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Técnicas de ICONTEC NTC 1486. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación: Trabajos escritos: presentación de referencias bibliográficas, Sexta Actualización.2008.

\_\_\_\_\_. Normas Técnicas de ICONTEC NTC 4490. Documentación, Referencias documentales para fuentes de información electrónica, 1998.

\_\_\_\_\_. Normas Técnicas de ICONTEC NTC 5613. Documentación, Referencias bibliográficas, Contenido, forma y estructura, 2008.

\_\_\_\_\_. Norma Técnica Colombiana NTC 3651. CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DEL pH. Bogotá, D.C.: 1994.

\_\_\_\_\_. Norma Técnica Colombiana. NTC 897. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS. Bogotá, D.C.: 1994.

\_\_\_\_\_. Norma Técnica Colombiana NTC 3630. CALIDAD DEL AGUA. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: Bogotá, D.C.: 2002.

\_\_\_\_\_. Norma Técnica Colombiana NTC 3362. CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DE ACEITES, GRASAS Y SUSTANCIAS SOLUBLES EN SOLVENTES ORGÁNICOS. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ed. Bogotá D.C.: 2005.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado. Bogotá D.C.: 2007.

JIANG, Luhua, et al. The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. vol. 200, p. 999-1007, 2016.

KUMAR, Tarun, et al. Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. En: ECOLOGICAL ENGINEERING. vol. 75, p. 370-377, 2015.

KUMAR, Tarun, et al. Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. En: ECOLOGICAL ENGINEERING. vol. 62, p. 77-82, 2014.

LÓPEZ HERNÁNDEZ, Jazmín Alejandra. Detección de microorganismos del tracto digestivo de la lombriz roja califonia por PCR, 2007

[Anónimo]Resolución 0631. Bogotá, D.C.,2015.

R.S Ramalho. Filtros Percoladores. España. [Consultado el 05/212016]. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/PERCOLADORES.pdf>

RAJPAL, Ankur, et al. Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor. En: ECOLOGICAL ENGINEERING. vol. 73, p. 154-161, 2014.

RAMALHO,RS. Tratamiento de Aguas Residuales Editorial Reverté. En: SA, ESPAÑA.

RAMÓN, Jacipt Alexander; LEÓN, José Alejandro y CASTILLO, Nelson. Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. En: MUTIS. vol. 5, no. 1, p. 46-54, 2015.

SALAZAR MIRANDA, Patricia Isabel. Sistema Tohá; Una Alternativa Ecológica Para El Tratamiento De Aguas Residuales En Sectores Rurales. Universidad Austral de Chile, 2005.

SUTHAR, Surindra; MUTIYAR, Pravin K. y SINGH, Sushma. Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. vol. 116, p. 214-219, 2012.

TOMAR, Priyanka y SUTHAR, Surindra. Urban wastewater treatment using vermifiltration system. En: DESALINATION. vol. 282, p. 95-103, 2011.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Diseño De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales. Modulo Didactico. [Consultado el 05/212016]. Disponible en: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/index.html>

WANG, Longmian, et al. The effect of vermifiltration height and wet: dry time ratio on nutrient removal performance and biological features, and their influence on nutrient removal efficiencies. En: ECOLOGICAL ENGINEERING. vol. 71, p. 165-172, 2014.

WANG, Longmian, et al. Performance and mechanisms of a microbial-earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS. vol. 195, p. 245-253, 2011.

## ANEXOS

## ANEXO A RESULTADO DE ANÁLISIS LABORATORIO

Análisis: Demanda Química de Oxígeno (DQO)

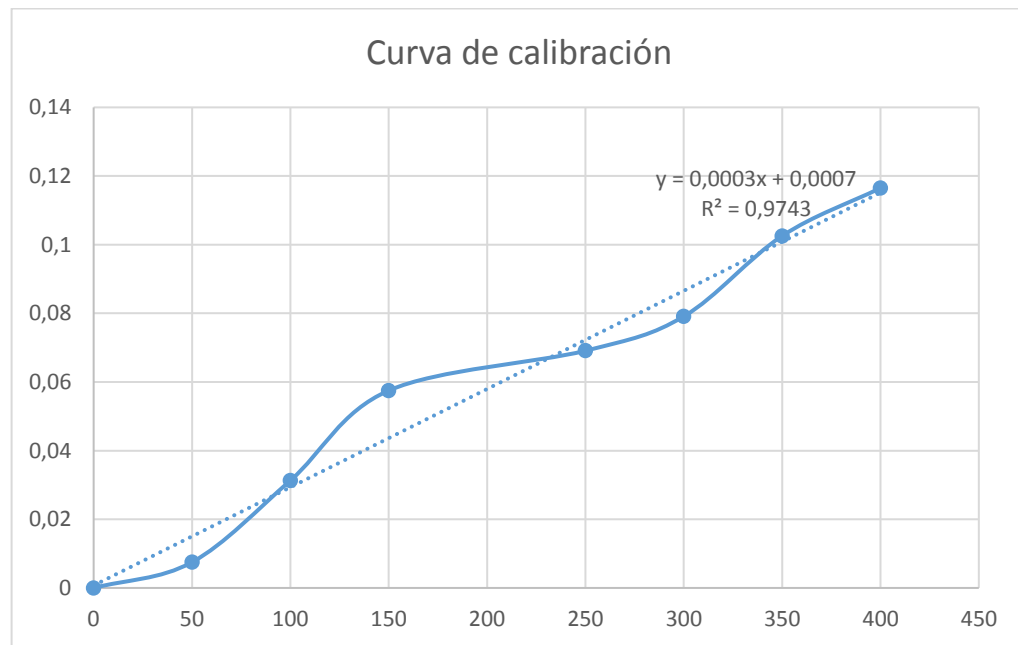
Fecha: 25 de mayo del 2016

Lugar: SENA Gestión Industrial

Persona a cargo: Walter Hernando Pérez Mora

Curva de Calibración

0	0
50	0,0075
100	0,0313
150	0,0575
250	0,0691
300	0,0791
350	0,10255
400	0,1165



Resultados de la medición de la muestras con el espectrofotómetro.

ABSORBANCIA ( a 600 nm)

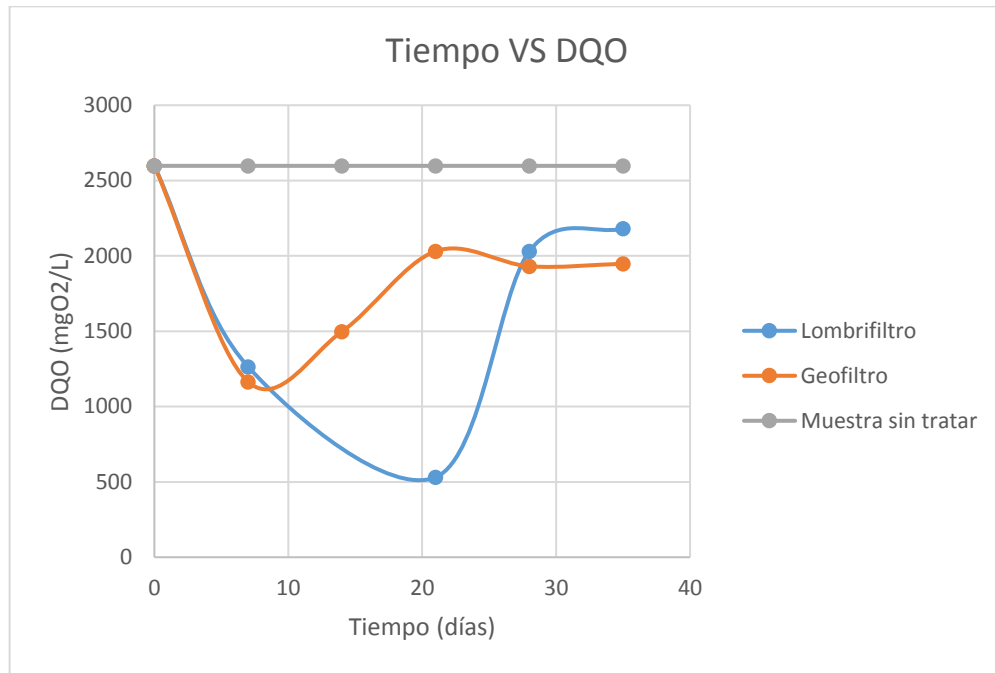
	Muestra sin tratar		Lombrifiltro		Geofiltro	
0	0,8	2664,33333				
0	0,76	2531				
1			0,38	1264,33333	0,35	1164,33333
2			0,82	2731	0,45	1497,66667
3			0,16	531	0,61	2031
4			0,61	2031	0,58	1931
5			0,65	2164,33333	0,53	1764,33333
5			0,66	2197,66667	0,64	2131

Datos finales DQO

DQO (mgO<sub>2</sub>/L)

	Muestra sin tratar	Lombrifiltro	Geofiltro
0	2597,66667	2597,66667	2597,66667
7		1264,33333	1164,33333
14		2731	1497,66667
21		531	2031
28		2031	1931
35		2181	1947,66667

Grafica resultado final de Tiempo VS DQO



Análisis: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Fecha inicio: 28 de mayo del 2016

Fecha finalización: 02 de junio del 2016

Lugar: SENA Gestión Industrial

Persona a cargo: Luisa María Sánchez

Blanco

1	6,59	3,24	3,35
2	6,68	2,45	4,23
3	6,7	2,33	4,37
		promedio	3,98333333

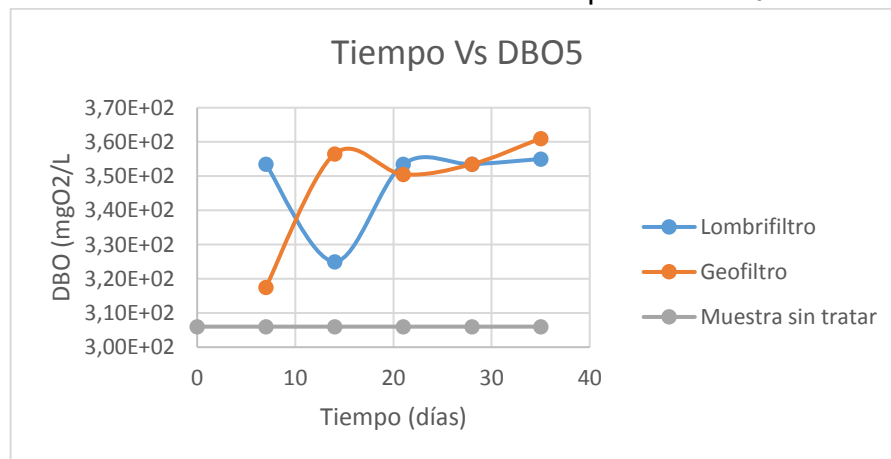
Resultado de la medición con el multiparametro.

	GEOFILTRO				LOMBRIFILTRO	
	MUESTRA INICIAL	MUESTR A FINAL	Mi-Mf	(Mi-Mf)- blanco	MUESTR A INICIAL	MUESTR RA FINAL
0	6,6	0,58	6,02	2,03666667	6,6	0,58
1	6,57	0,47	6,1	2,11666667	6,67	0,33
2	6,62	0,26	6,36	2,37666667	6,63	0,48
3	6,61	0,29	6,32	2,33666667	6,53	0,19
4	6,59	0,25	6,34	2,35666667	6,63	0,29
5	6,61	0,22	6,39	2,40666667	6,54	0,19

Datos finales DBO<sub>5</sub>

DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)		
	GEOFILTRO	LOMBRIFILTRO
0		
7	3,18E+02	3,54E+02
14	3,57E+02	3,25E+02
21	3,51E+02	3,54E+02
28	3,54E+02	3,54E+02
35	3,61E+02	3,55E+02

Gráfica resultado final de Tiempo VS DBO<sub>5</sub>





## ANEXO B EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACIÓN

Equipo: Multiparametro

Marca: Hach HQ40D

Descripción: Diseñado para aplicaciones de agua, el medidor portátil HQ40d de Hach es un medidor de vanguardia que elimina las conjeturas en la mediciones. Los medidores HQd se conectan con sondas inteligentes que reconocen automáticamente el parámetro de prueba, el historial de calibración y

- El medidor portátil mide los parámetros de calidad del agua importantes sin la necesidad de tener que usar muchos instrumentos
- Interfaz de usuario intuitiva que permite obtener un funcionamiento simple y resultados precisos
- El medidor impermeable, los guantes de protección y el estuche resistente aseguran un uso en el campo confiable y sin inconvenientes



Equipo: pH metro

Marca: Thermo Orion model 210

Descripción: These ORION meters are ergonomically designed for comfortable one-hand use. Built-in electrode storage sleeve protects electrode in transit. Custom LCD shows pH (or mV or concentration) and temperature simultaneously. A ready indicator lets you know when reading is stable. Keypads give audible confirmation when pressed. Model 58801-00 (ORION 210A) is a basic pH/temperature meter with four function buttons; MODE, YES, NO, and POWER - great for simple operations. Includes combination electrode 05711-41 with BNC connector.



Equipo: Termoreactor

Marca: Bioscience, Inc.

Descripción: TX biological, submerged, fixed-film reactors from Bioscience, Inc., are unsurpassed for stability and ease of operation compared to conventional packaged activated sludge systems. Inexpensive to install, self-controlling and transportable by roadway, they are suitable for the treatment and pretreatment of:

- Industrial, institutional, commercial and domestic wastewater
- Surface water and groundwater in site remediation projects
- Drinking water



## ANEXO C ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS

Empresa: ASPERCOL  
Producto: Aspersor modelo 301  
Precio: 58.000 moneda local  
Teléfonos:(571) 3605511-6967037



### Aspersor Modelo 301 Especificaciones

- Circulo completo.
- Roscado macho  $\frac{3}{4}$ " Ø - 14" NPT.
- Diámetro de cobertura entre 25 y 37 mt.
- Descarga entre 3 y 16 G.P.M, dependiendo de las boquillas y la presión.
- Materiales de fabricación: Brazo y cuerpo en bronce,
- Niple,cojinete y boquillas en Latón
- Resortes y pin en acero inoxidable,
- Sellos en caucho y plástico.

Empresa: TUVACOL  
Producto: Válvulas de compuerta  
Precio: 862.000 moneda local  
Teléfono: (571) 8215999

## Válvulas de Compuerta



La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con una compuerta vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

### Recomendada para:

- Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación.
- Para uso poco frecuente.
- Para resistencia mínima a la circulación.
- Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Empresa: BARNES de Colombia

Producto: Bombas sumergibles de aguas residuales NNE 1.25 5-1-2-110 HF

Precio: 269.000 moneda local

Teléfono: (571) 7439090

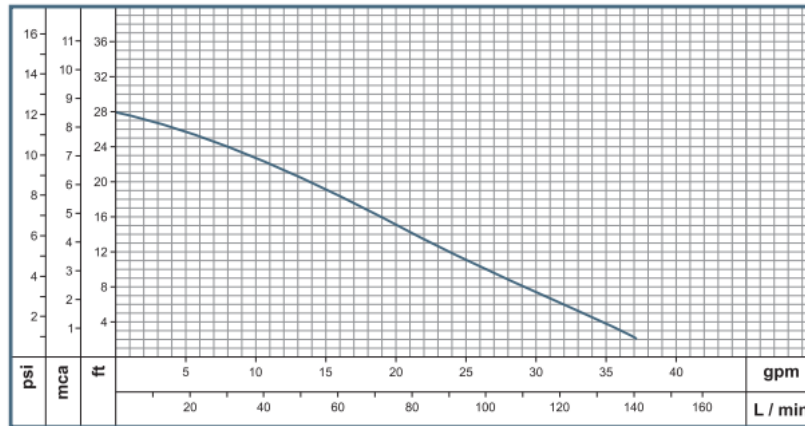
Características de la bomba					
Tipo de bomba	Acoplamiento	Impulsor	Temperatura máx. líquido		
Centrífuga	Monobloque	Abierto	35°C (95°F) Continua		
Etapas	Conexión eléctrica		Ø máximo de sólidos en suspensión		
1	Conjunto de cable de 10 m		5 mm		
Modelo	Ref.	Ø Descarga	Peso (kg)	H máx (mca) *	Q máx. (gpm) **
NNE 1.25 5-1-2-110 HF	E0369	1 1/4" NPT	18,5	8	37

Características del motor		
Alimentación	Velocidad (rpm)	
Eléctrica	3.600 (nominal)	
Cerramiento	Frecuencia (Hz)	
ODP	60	
Potencia (hp)	Fases	Voltaje (V)
0,5	1	110

\* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).

\*\* El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

### Curva de rendimiento



### Aplicaciones

#### Uso doméstico.

- Bombeo de agua.
- Bombeo de agua en piscinas.
- Llenado de tanques.
- Riego de jardines.