

**UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO
ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN LOMBRIFILTRO COMO ALTERNATIVA PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS”**

Postulante:

Univ. Efraín Michua Aliaga

Tutor Colectivo:

Ing. José Luis Richard Manrique Sanabria

Asesor:

Ing. Erick Arrázola Iriarte

COBIJA – PANDO – BOLIVIA

2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino y acompañarme en el transcurso de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas.

A mi prestigiosa casa superior de estudios la Universidad Amazónica de Pando y a todos los docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desenvolverme como persona. Agradezco a mi asesor Ing. Erick Arrazola Iriarte quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación. Al Ing. Roberto Bejarano, Ing. Iván Vildoza y al Ing. Richard Manrique por sus consejos, enseñanzas, apoyo y sobre todo amistad brindada.

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

DEDICATORIA

¡Que nadie se quede afuera, se los dedico a todos!

Si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que me acompañaron en el recorrido laborioso de esta investigación y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación. La presente investigación está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

RESUMEN GENERAL

El presente documento contiene la información de diseño y evaluación de un lombrifiltro como alternativa para el tratamiento de aguas servidas, producto de investigación desarrollado en el colegio Nuestra Señora del Pilar Fe y Alegría, ubicado en la comunidad de Villa Busch a 10 km de la ciudad de Cobija del departamento de Pando, el contenido de la presente investigación se rige al reglamento de Modalidad de Graduación de la carrera de Ingeniería Civil del Área Ciencias y Tecnología.

El documento se divide de la siguiente manera:

-) *En el Capítulo 1*, presenta los aspectos generales y los objetivos planteados.
-) *En el Capítulo 2*, describe la recopilación de antecedentes, investigaciones previas y consideraciones técnicas del lombrifiltro por donde se sustenta la investigación.
-) *En el Capítulo 3*, describe la ubicación de la planta piloto de lombrifiltro, los parámetros básicos de diseño, proceso de construcción, caracterización de las aguas servidas, operación y mantenimiento del lombrifiltro.
-) *En el Capítulo 4*, muestra resultado de análisis de muestras puntuales de los parámetros físico químicos, Bioquímicos y Biológicos del efluente de la planta piloto de lombrifiltro. Por otro lado, se describe la determinación de la eficiencia en la reducción de los parámetros bioquímicos y bacteriológicos del sistema de tratamiento estudiado.
-) *En el Capítulo 5*, propone las conclusiones explícitas y recomendaciones del presente proyecto.
-) *En el Capítulo 6*, propone anexos complementarios del documento.

ÍNDICE

CAPITULO 1	10
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Hipótesis general	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo general	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 Justificación	13
1.5 Metodología.....	13
1.6 Alcances.....	16
CAPITULO 2	17
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Importancia del tratamiento de aguas residuales	17
2.2 Clasificación de sistemas de tratamiento.....	18
2.2.1 Tratamiento preliminar o pretratamiento.....	20
2.2.1.1 Reja.....	21
2.2.1.1.1 Residuos retenidos en rejas de barras.	21
2.2.1.1.2 Residuos retenidos en tamices.	22
2.2.1.1.3 Parámetros de Diseño.	23
2.2.1.2 Desarenadores.	25
2.2.1.2.1 Tipos de desarenadores	25
2.2.1.2.2 Zonas de un desarenador.....	26
2.2.1.2.3 Parámetros de Diseño	28
2.2.1.3 Dispositivo de control de velocidad y medición de caudal.	31
2.2.2 Tratamiento Primario.....	34
2.2.2.1 Tanques sedimentadores.	34
2.2.2.1.1 Clasificación de sedimentadores.....	34
2.2.2.2 Parámetros de Diseño.....	35
2.2.3 Tratamiento Secundario o Biológico	36
2.2.3.1.2 Lodos activados	40
2.2.3.1.3 Lagunas aireadas	42
2.2.4 Tratamiento Terciario o “Avanzado”	42
2.3 Alternativas de tratamiento para aguas servidas.....	46

2.3.1	Lodos Activados	46
2.3.1.1	Descripción del proceso	46
2.3.1.2	Operaciones básicas	46
2.3.2	Reactor UASB	47
2.3.3	Laguna de maduración.....	49
2.3.4	Coagulación – Floculación	50
2.3.4.1	Descripción del proceso	50
2.3.5	Lombrifiltro	51
2.3.6	Origen del sistema.	52
2.3.7	Principio de operación del lombrifiltro	52
2.3.8	Composición del Lombrifiltro.....	52
2.3.8.1	Capa activa	54
2.3.8.1.1	Propiedades Funcionales.....	54
2.3.8.1.2	Componente principal: la lombriz.	55
2.3.8.2	Capa Pétre.....	58
2.3.8.2.1	Capa de grava.....	58
2.3.8.2.2	Capa de grava chancada o bolones de piedra.....	59
2.3.8.3	Las colonias microbianas y sus regulaciones	59
2.3.8.4	La degradación de las materias orgánicas	59
2.3.9	Otros Factores importantes del lombrifiltro.	61
2.3.9.1	La temperatura.....	61
2.3.9.2	pH.....	62
2.3.9.3	La humedad.	62
2.3.9.4	El tiempo	62
2.4	Diseño de la unidad de tratamiento.	63
2.4.1	Consideraciones para el tratamiento preliminar	63
2.4.2	Diseño del Lombrifiltro	64
2.4.2.1	Forma del Tanque.....	64
2.4.2.2	Área superficial	65
2.4.2.3	Sistema de distribución	65
2.4.2.4	Sistema de circulación de aire.....	65
2.4.2.5	Altura de los estratos	66
2.4.2.6	Puesta en marcha.....	67
2.4.2.7	Características óptimas del medio.....	67

2.5	Eficiencias de remoción.....	68
2.6	Comparación de alternativas de tratamiento	69
CAPITULO 3		70
3.	MARCO PRÁCTICO – PLANTA PILOTO.....	70
3.1	Área del proyecto.....	70
3.1.1	Planta Piloto.....	71
3.1.1.1	Ubicación	71
3.1.2	Punto de muestreo	71
3.1.3	Descripción de la zona.....	72
3.1.4	Condiciones Ambientales del Sector.....	73
3.2	Caracterización las aguas del afluente y efluente en el lombrifiltro.....	74
3.2.1	Características Fisicoquímicas	74
3.2.2	Características microbiológicas	75
3.3	Parámetros básicos de diseño y construcción del sistema de tratamiento.....	76
3.3.1	Parámetros Hidráulicos.....	76
3.3.1.1.1	Caudal de diseño	77
3.3.1.2	Capacidad hidráulica de lombrifiltro.....	79
3.3.1.3	Tratamiento Preliminar “cámara de separador de sólidos”	80
3.3.1.4	Tanque de almacenamiento.....	81
3.3.1.5	Tratamiento Secundario – Lombrifiltro	82
3.3.1.6	Sistema de distribución	84
3.3.2	Construcción de una planta piloto “lombrifiltro”.	86
3.3.2.1	Replanteo y control lineal	86
3.3.2.2	Excavación manual	86
3.3.2.3	Provisión y tendido de tubería PVC.....	87
3.3.2.4	Cámara de separador de solidos	88
3.3.2.5	Tanque de almacenamiento.....	88
3.3.2.6	Lombrifiltro.....	89
3.4	Puesta en marcha.	93
3.5	Funcionamiento y operación de la Planta.....	95
3.6	Plan de muestreo del afluente y efluente	95
3.6.1	Puntos de muestreo.....	95
3.6.2	Parámetros de estudio.....	96
3.6.3	Tipo y frecuencia de muestreo.....	96

3.6.4	Tiempo de estudio	97
3.7	Presupuesto del proyecto	97
3.8	Operación y mantenimiento del lombrifiltro	99
3.8.1	Objetivos del manual de operación y mantenimiento.	99
3.8.1.1	Seguridad.....	99
3.8.1.2	Personal	100
3.8.1.3	Funciones del personal	100
3.8.2	Limpieza del sistema de tubos por goteo.....	100
3.8.3	Limpieza del tanque de almacenamiento.....	101
3.8.4	Limpieza de la cámara de separador de sólidos.	101
3.8.5	Horqueteo de la superficie del Lombrifiltro	101
3.8.6	Cambio de material del Lombrifiltro (Aserrín y Viruta).....	101
CAPITULO 4	102
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	102
4.1	Medición de Parámetros	102
4.1.1	pH y Temperatura.	103
4.1.2	Sólidos Totales.	104
4.1.3	Sólidos Suspendidos.	105
4.1.4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).	105
4.1.5	Demanda Química de Oxígeno (DQO).	107
4.1.6	Grasas y Aceites	108
4.1.7	Otros parámetros de control.	108
4.1.7.1	Color.....	108
4.1.7.2	Olor.....	109
4.2	Resumen de los parámetros analizados en el afluente y efluente del lombrifiltro.	109
4.3	Resultado Final: agua tratada con el Lombrifiltro.....	111
4.4	Estado de las lombrices al final del proyecto de investigación	112
4.4.1	Peso de lombrices	112
4.4.2	Desarrollo de su cuerpo de las lombrices rojas californianas (eisenia foetida).....	113
4.4.3	Producción de Humus.....	114
4.5	Aplicaciones del lombrifiltro.....	115
CAPITULO 5	117
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
CAPITULO 6	121

6. BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.....	121
ANEXOS	123
ANEXO A: “Planos de la Planta Piloto de lombrifiltro”	123
ANEXO B: “Tablas y normas consultadas”	128
ANEXO C: “Reporte de ensayo fisicoquímico y microbiológico matriz agua servida”	129
ANEXO D: “Fotografías de la planta piloto”	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Diagrama de flujo.....	13
Figura 2.1. Distribución de agua en el Mundo	17
Figura 2.2. Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales	19
Figura 2.3. Partes de una reja	23
Figura 2.4. Esquema de Medidor Parshall.....	32
Figura 2.5. Rango de luz UV en la escala de ondas	45
Figura 2.6. Estratos componentes de un Lombrifiltro	53
Figura 2.7. Anatomía de Eisenia foetida	57
Figura 2.8. Corte transversal de Eisenia foetida.....	57
Figura 2.9. Esquema del sistema, sus estratos y características	64
Figura 2.10. Sistema de ventilación – efecto chimenea	66
Figura 3.1. Ubicación de la ciudad de Cobija - Pando	70
Figura 3.2. Ubicación de la planta piloto del lombrifiltro	71
Figura 3.3. Sitio de recolección de aguas servidas	72
Figura 3.4. Temperatura ambiente promedio en la ciudad de Cobija	73
Figura 3.5. Malla electrosoldada (2 mm.)	80
Figura 3.6. Tanques de almacenamiento	82
Figura 3.7. Lombrifiltro en el proceso de tratamiento.....	85
Figura 3.8. Replanteo y control lineal	86
Figura 3.9. Excavación manual	87
Figura 3.10. Provisión y tendido de tubería PVC de 4”	87
Figura 3.11. Cámara de separador de solidos.....	88
Figura 3.12. Instalación de Tanques de almacenamiento.....	88
Figura 3.13. Rociado del afluente en la superficie del lombrifiltro.....	89
Figura 3.14. Proceso de la composición de los estratos del lombrifiltro.....	91
Figura 3.15. Siembra de lombrices en el sistema	92
Figura 3.16. Planta piloto de lombrifiltro terminada	93
Figura 4.1. Solidos Totales de agua tratada y remoción.....	104
Figura 4.2. Eficiencia de Solidos Suspendidos Totales.....	105
Figura 4.3. Eficiencia de agua tratada -Demanda Biológica de Oxigeno	107

Figura 4.4. Agua tratada – Demanda Química de Oxígeno	108
Figura 4.5. Resumen de los resultados de análisis de agua servidas	110
Figura 4.6. Fotografía de agua cruda y tratada	111
Figura 4.7. Peso de lombriz roja californiana	113
Figura 4.8. Lombriz roja californiana adulta.....	113
Figura 4.9. Humus de lombriz roja californiana.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tipos de Rejas según sus dimensiones	23
Tabla 2.2. Tipos de Rejas según sus dimensiones	33
Tabla 2.3. Eficiencias promedio obtenidas por experiencias chilenas	68
Tabla 2.4. Comparación de tecnologías de tratamientos de aguas servidas	69
Tabla 3.1. Parámetros fisicoquímicos.....	75
Tabla 3.2. Parámetros microbiológicos	75
Tabla 3.3. La hidratación en niños y adolescentes	76
Tabla 3.4. frecuencia de estudiantes que va al baño a miccionar	77
Tabla 3.5. Presupuesto de construcción de un lombrifiltro	98
Tabla 4.1. Resultado de laboratorio de las muestras en el afluente y efluente del lombrifiltro..	102
Tabla 4.2. Comparación de los resultados obtenidos por los tratamientos con los Limites Máximo Permisible.....	110

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El sistema Lombrifiltro (Toha, 2000), es un sistema de tratamiento de las aguas servidas, su funcionamiento se basa en la utilización de un filtro percolador compuesto de diferentes estratos filtrantes y lombrices, de tal forma que las aguas servidas percola a través de los diferentes lechos filtrantes, quedando retenida la materia orgánica, la que posteriormente es consumida por las lombrices, desarrollado por el profesor José Toha Castella, en el laboratorio de Biofísica de la Facultad de Ingeniería de la universidad de Chile. Este método de depuración de aguas tuvo sus primeras pruebas en terreno entre los años 1994 y 1995, cuando desarrollaron un plan piloto en Melipilla para 1.000 personas.

En Bolivia, un total del 52.7% de la población cuenta con el servicio de alcantarillado sanitario según datos del censo elaborado por el Instituto Nacional de Estadística (INE – 2012).

En los departamentos como Beni y Pando, tienen una cobertura de alcantarillado del 1.5 y 3.0% respectivamente y un 66.1 y 69.8% de los mismos utilizan pozos negros que infiltran las aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento.

Actualmente en la ciudad de Cobija no se realiza un tratamiento de las aguas servidas, debido a que no se ha establecido un proceso y/o política educativa dirigida a la sociedad para su beneficio, dentro de ello es importante destacar la prioridad del tratamiento de las mismas, y de difundir una cultura ambiental, orientada a evitar la contaminación del agua en su disposición final y verter estas aguas sin previo tratamiento en los ríos o afluentes naturales, tal situación se origina entre muchos aspectos, por falta de servicios básicos, afectan directamente en la salud de sus habitantes, siendo que dichas aguas son causantes de enfermedades gastrointestinales o de origen hídrico, disminución de la fauna, y en general un severo daño al medio ambiente, a raíz de esto nace la necesidad de realizar estudios y proyectos que permitan la reducción de los problemas anteriormente mencionados.

Una forma de combatir el contexto descrito, es la generación de alternativas de tratamiento con características cada vez más innovadoras, con bajos costos de inversión y operación. En este

sentido, una opción bastante interesante y ecológica, aprovechando el ciclo completo que comprende la cadena alimenticia y que es el principio fundamental de tratamiento que se aplica en un diseño de un lombrifiltro como alternativa para el tratamiento de aguas servidas.

El sistema planteado, consiste en la utilización de lombrices, que estabilizan la materia orgánica presente en las aguas servidas, degradándola en primera instancia para luego pasar al trabajo de un conjunto de microorganismos asociados que también forman parte del proceso de tratamiento. El agua en su paso por el filtro es tratada biológicamente y en presencia de oxígeno logrando un proceso natural de descomposición de los agentes contaminantes del afluente.

Se trata de una alternativa ecológica que cumple con las condiciones citadas con anterioridad, y permitiría un tratamiento de aguas para su posterior aprovechamiento en agricultura, riego e industria entre otras, contribuyendo además de disminuir los inminentes impactos de la naturaleza que producen las descargas incontroladas en los cuerpos receptores de agua de curso natural. Los contaminantes de las aguas urbanas equivalen de 0.5% de su masa, de modo que la purificación para nuevo uso es técnicamente factible. El 70% de toda el agua extraída se devuelve a la porción de aguas superficiales del ciclo hidrológico donde, a menos que se trastorne demasiado en los sistemas naturales, rejuvenece en parte por la acción de procesos naturales. (*Glynn y Heinke, 1999*).

Bajo este contexto surge la necesidad de buscar algún método, que lo haga económicamente factible y eficiente, protegiendo la salud de las personas y el medio ambiente, cabe destacar que en la ciudad de Cobija los sistemas existentes de recolección de aguas servidas, descargan directamente a cursos de agua sin previo tratamiento, hecho evidente y de conocimiento general.

Debido al problema de contaminación anteriormente mencionado, y en base a una revisión bibliográfica se pudo recabar información referida a tratamientos de aguas servidas, de dicho proceso de estudio se ha visto por conveniente plantear como una alternativa de tratamiento en el presente proyecto de tesis, **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN LOMBRIFILTRO COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS.**

1.1 Planteamiento del problema

La ciudad de Cobija no cuenta con un sistema integrado de tratamiento de aguas servidas, tiene pequeños sistemas de tratamiento de tipo primario y en forma aislada, y no se realiza operación y mantenimiento de estos sistemas. Asimismo, no hay reportes estadísticos de sistemas de tratamiento de agua servidas en el área rural, considerando que las poblaciones pequeñas se encuentran semi-dispersas o dispersas y la mayoría de los habitantes deposita, sus desechos líquidos y sólidos en pozos ciegos o fosas sépticas, lo que ocasiona la contaminación de las aguas subterráneas, por la presencia de acuíferos artesanales, siendo que las napas freáticas están muy próximas a la superficie del suelo. Se ha observado que no existen sistemas de tratamiento para la disposición final de las aguas servidas, las descargas de los efluentes de estos sistemas son realizadas directamente en los ríos o afluentes naturales, sin previo tratamiento, dichas aguas son causantes de enfermedades gastrointestinales o de origen hídrico que afectan directamente en la salud de sus habitantes y genera un severo daño al medio ambiente debido a que no se ha establecido un proceso y/o política educativas dirigida a la sociedad para su beneficio.

1.2 Hipótesis general

Se obtendrá un tratamiento de aguas servidas igual o mejor a los tratamientos convencionales, con un lombrifiltro como una alternativa para poblaciones pequeñas del departamento de Pando, ya que podría ser un tratamiento global, es decir, no habría necesidad de otros tratamientos adicionales, para la reducción de los parámetros físicos, bioquímicos y biológicos que determinen la calidad de agua.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar los parámetros básicos de diseño y la eficiencia del lombrifiltro como alternativa para el tratamiento de las aguas servidas, para poblaciones pequeñas del departamento de Pando.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros básicos de diseño para la construcción de un lombrifiltro.
2. Construir una planta piloto del lombrifiltro.
3. Caracterizar las aguas del afluente y efluente en el lombrifiltro.

4. Evaluar los parámetros físicos-químicos, biológicos e hidráulicos en el afluente y efluente del lombrifiltro.
5. Elaborar un manual de operación y mantenimiento del lombrifiltro, a través de una planta piloto de aguas servidas.

1.4 Justificación

En Bolivia no se cuenta una norma ni criterios específicos de diseño de lombrifiltro, que permitan contrastar con otros tratamientos la eficiencia de este tratamiento.

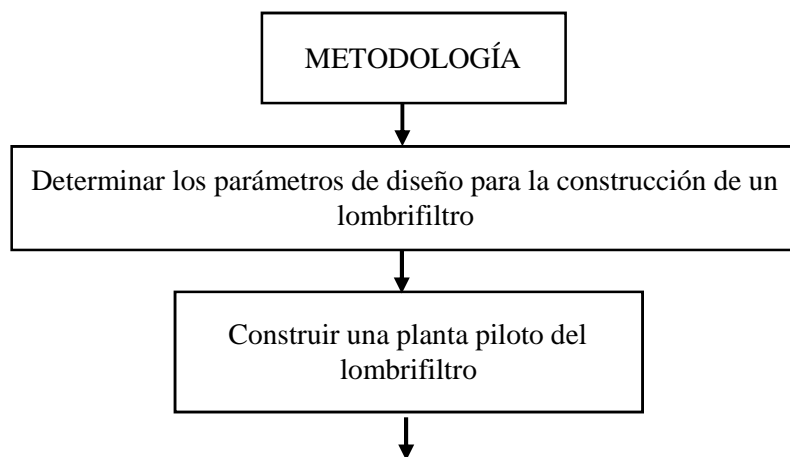
La importancia de este proyecto fundamentalmente se basa en el interés de dar a conocer una iniciativa innovadora que inicialmente aportaría experiencias motivadoras e interesantes, donde seríamos productores de un proyecto que podría ser de mucha ayuda para proteger los cursos de agua, crear proyectos en pro de la protección del agua, contrarrestar una problemática y cuidar una de las riquezas invaluable de nuestro país, el cual se destaca por sus inmensidades ecológica e hídrica, donde este tesoro invaluable se está viendo amenazado por la mano destructora del ser humano.

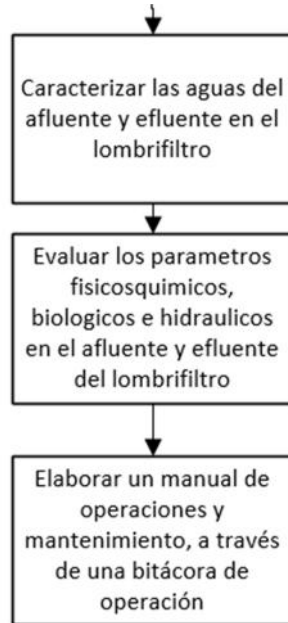
La principal meta es lograr implementar este método de lombrifiltro que presentara una tecnología limpia que no tiene efectos en su proceso

1.5 Metodología

Diagrama de flujo, metodología para su desarrollo como se muestra en la figura 5.

Figura 1.1 Diagrama de flujo





Fuente: Elaboración propia

1. Determinar los parámetros básicos de diseño para la construcción de un lombrifiltro

En esta etapa se obtendrá muestras para lo cual se evaluará los parámetros de entrada de las aguas servidas (obtención de línea base), se utilizará técnica de medición y muestra. Para el diseño del lombrifiltro de aguas servidas se deben conocer los siguientes parámetros que se indican a continuación:

-) Población
-) Caudal
-) Demanda química de oxígeno (DQO)
-) Demanda biológica de oxígeno (DBO)
-) Temperatura ambiente

2. Construir una planta piloto del lombrifiltro.

En esta etapa se construirá un lombrifiltro a escala reducida, donde se analizará los criterios de diseño y valores que se va a tomar en cuenta y estará compuesto por capas en forma descendente, como primera capa es donde habita la lombriz y el humus, luego viene el aserrín

y la grava. El dimensionamiento del lombrifiltro será según los criterios básicos de diseño que se estima aproximadamente de 1m².

3. Caracterizar las aguas del afluente y efluente del lombrifiltro.

Se recolectará muestras puntuales apropiadas para asegurar la representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud de los resultados con el fin de saber la calidad del agua de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

4. Evaluar los parámetros físicos-químicos, biológicos e hidráulicos en el afluente y efluente del lombrifiltro.

Se analizará según los parámetros del Anexo A el “reglamento en materia de contaminación hídrica” Tabla No A-1, de la ley del medio ambiente 1333. Por lo tanto, se realizarán los estudios que se detalla a continuación:

a) Parámetros hidráulicos

Caudal afluente (l/s)

Caudal efluente (l/s)

b) Parámetros físicos: Los parámetros físicos, como su nombre lo explican son aquellos parámetros que dan las características físicas visibles en el agua.

Sólidos totales (mg/l)

Color (mg/l)

Temperatura (°C)

c) Parámetros químicos: Son aquellos parámetros que solo se pueden determinar a través de análisis de laboratorio.

PH (adimensional)

d) Parámetros Bioquímicos:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). (mg/l)

Demanda química de oxígeno (DQO). (mg/l)

e) Parámetros biológicos:

Coliformes fecales. (NMP/100ml)

Coliformes totales. (NMP/100ml)

5. Elaboración de manual de operaciones y mantenimiento

Es un proceso que se generara a través de la experiencia obtenida en la operación de la planta piloto.

1.6 Alcances

1. Determinar los parámetros básicos de diseño para la construcción del lombrifiltro.
Determinar los parámetros básicos de diseño para la construcción de la planta piloto del lombrifiltro.
2. Construir una planta piloto del lombrifiltro.
Construir un modelo básico de una planta piloto de lombrifiltro para pequeñas poblaciones en el departamento de Pando.
3. Caracterizar las aguas del afluente y efluente del lombrifiltro.
Se conocerá la cantidad de concentración de materia orgánica contaminante en el afluente y efluente del lombrifiltro.
4. Evaluar los parámetros físicos-químicos, biológicos e hidráulicos en el afluente y efluente del lombrifiltro.
Determinar la eficiencia del lombrifiltro y se estudiara el funcionamiento, operación y las características de las aguas servidas en las condiciones climatológicas en la ciudad de Cobija.
5. Elaborar un manual de operación y mantenimiento de lombrifiltro a través de una bitácora de operación.
Elaboración de cálculos métricos, presupuestos de construcción, y debatir posibles soluciones a los problemas que se presentaran durante el diseño construcción, operación y mantenimiento del lombrifiltro.

CAPITULO 2

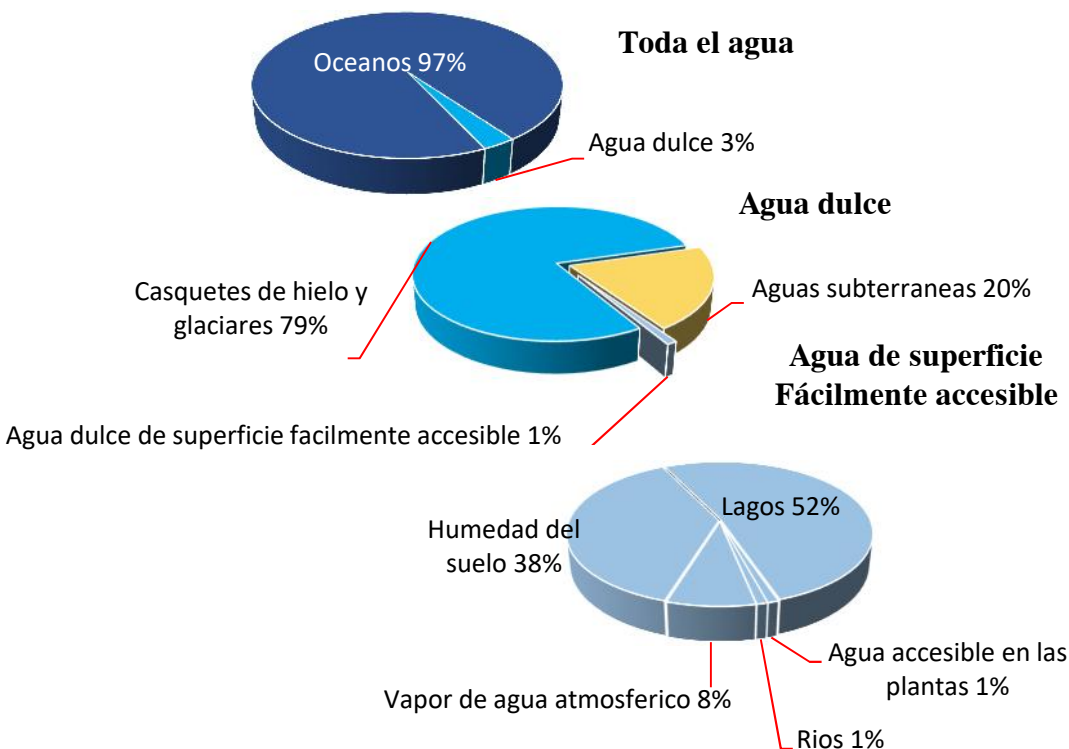
2. MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia del tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a la situación planteada en el acápite 1.1, es posible detectar una gran necesidad de sistemas de tratamiento que cumplan con las condiciones que nuestro medio exige.

El tratamiento de aguas residuales, es hoy en día una actividad humana fundamental para proteger este escaso, aunque vital recurso requerido todos los días. Según informes de la OMS y UNICEF (2015): más de 2.400 millones de personas (más de un 42% de la población mundial) carecen de saneamiento básico y más de 663 millones siguen utilizando para beber fuentes de agua no aptas para el consumo humano. Cada día mueren alrededor de 1000 niños por la falta de servicios de saneamiento.

Figura 2.1. Distribución de agua en el Mundo



Fuente: Lean y Hinrichsen. 1994

La superficie terrestre se encuentra ocupada en un 70% por grandes extensiones acuosas, de las cuales 97% corresponden a agua salada oceánica y tan solo un 3% en volumen de ésta es agua dulce apta para el uso humano (Lean & Hinrichsen, 1994). Como se ve en la Figura 2.1., de este 3% tan solo es accesible para el hombre el 1% del agua dulce ya que tres cuartas partes forman casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares.

El agua accesible se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, donde puede extraerse fácilmente, y forma parte fundamental del ciclo hidrológico por lo cual es posible afirmar que se trata de un recurso sostenible. En total, sólo un centésimo del 1% del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano (Lean y Hinrichsen, 1994)

La evaluación de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas; sin embargo, hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda.

Una política de gran importancia hoy en día, ante la citada escasez de agua y la baja calidad de los cuerpos de abastecimiento (afectados por actividad humana principalmente), es la reutilización y el tratamiento del agua para evitar que ésta alcance niveles de contaminación que impidan su posterior uso en cualquier otra actividad para la naturaleza y para el propio ser humano.

Los sistemas tradicionales utilizados actualmente para el tratamiento de aguas servidas, comprenden complejos procesos que deben ser muy estudiados para su aplicación y requieren extensiones de terreno considerables, así como personal especializado para su correcto desempeño. Es por estas razones, entre otras, es fundamental la investigación de nuevas tecnologías y alternativas de tratamiento que brinden un marco de acción más amplio a la hora de su aplicación.

El uso de aguas residuales sin tratamiento previo para el riego de cultivos para consumo humano, incrementa los factores de riesgo para la salud de la población. Las situaciones endémicas de diarreas, parasitismo, fiebre tifoidea y salmonelosis que imperan en nuestro continente, no son más que el reflejo de esta situación, a la que se sumó el cólera (CEPIS/OPS, 1995).

2.2 Clasificación de sistemas de tratamiento

El grado de tratamiento para un agua residual depende fundamentalmente de los límites requeridos para el vertido del efluente, según el nivel de tratamiento requerido, se deberá optar por la solución

más adecuada según las condiciones de calidad por la Norma Boliviana NB 688 y la Ley del Medio Ambiente 1333 y el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica. La Figura 2.2. presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Figura 2.2. Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales

Tipos de tratamiento de aguas residuales	
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"> Cribado o desbrozo (reja) Desarenado Flotación Separación de aceites y grasas Homogenización Neutralización Sedimentación Otros
Tratamiento secundario o biológico	<ul style="list-style-type: none"> Lodos activados Aireación prolongada (proceso de oxidación total) Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activos; aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro. Lagunaje con o sin aireación Estabilización por lagunaje Filtros biológicos (percoladores) Discos biológicos rotatorios Tratamientos anaerobios; procesos de contacto, filtros sumergidos Rhizofiltración (macrófitas) LOMBRIFILTRO Otros
Tratamiento terciario o "avanzado"	<ul style="list-style-type: none"> Microtamizado Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas...) Precipitación y coagulación Adsorción (carbón activado) Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodiálisis Cloración y ozonización Procesos de reducción de nutrientes Otros

Fuente: Modificado de Rarmalho, 1996

La Figura 2.2. presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y

los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogeneización. El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales.

Un desarrollo más amplio de cada uno de estos sistemas requeriría un documento más extenso, por lo cual se toma en cuenta a detalle solamente el Lombrifiltro, objeto de estudio en el presente Proyecto de Tesis.

La selección de procesos de tratamiento de aguas residuales o la serie de procesos de tratamiento dependen de un cierto número de factores, entre los que se incluyen: (*Rarmalho, 1996*):

- a) Características del agua residual: DBO, DQO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos y otros.
- b) Calidad del efluente de salida requerido.
- c) Coste y disponibilidad de terrenos: por ejemplo, ciertos tratamientos biológicos (lagunaje, estanques de estabilización) son económicamente viables en el caso que se disponga de terrenos de bajo coste.
- d) Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.
- e) Coste local del agua: por ejemplo, ciertos tratamientos sofisticados (ósmosis inversa, electrodiálisis y otros) podrían justificarse en determinadas regiones en que el coste del agua es elevado, y estarían fuera de lugar en regiones de bajo coste del agua.

2.2.1 Tratamiento preliminar o pretratamiento

Existen procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales, entre los que es necesario destacar la existencia inobjetable de un tratamiento preliminar, el cual consta como objetivo acondicionar o preparar las aguas residuales para su tratamiento posterior removiendo el material más grande llamado “grosero” (basuras). Estos tratamientos preliminares son: rejas, desarenadores, desgrasadores, trituradores de sólidos, medidores de caudal y otros menos convencionales.

La unidad básica para comenzar este proceso son las rejas, en las cuales se realiza el proceso de cribado o desbrozo, empleado para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos

generalmente denominados “groseros” por su tamaño y aleatoriedad (palos, papeles, basura principalmente). La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas y su limpieza puede ser manual o de tipo mecánico.

Posteriormente los productos recogidos se destruyen ya sea por incineración o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o por último se dirigen directamente a un vertedero o relleno sanitario controlado (realizando una separación de los mismos de acuerdo a sus características). Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finas y gruesas.

2.2.1.1 Reja.

Se trata de un dispositivo de retención (barras paralelas entre sí, pero perpendiculares a la dirección del flujo) y de remoción de sólidos. Sirve para proteger los dispositivos de transporte y de tratamiento, para brindar condiciones más estéticas y proteger los canales de derivación del proceso de tratamiento.

Las rejillas o cribas de gruesos, pueden tener aberturas que oscilen entre 4 cm y 10 cm se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos. En ocasiones se pueden utilizar trituradoras en vez de estas rejillas de gruesos para romper y desgarrar los sólidos y recogerlos en mayor cantidad en las rejillas de finos.

Las rejillas de finos, tienen aberturas de 1 cm a 2 cm o menos, en tambores rotativos las aberturas son de 0,25 cm a 1,20 cm, aunque ya no son sistemas manuales sino mecanizados. Generalmente son fabricadas de una malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado. Aunque puede eliminarse entre un 5% y 25% de sólidos en suspensión, el resto debe ser eliminado por otro proceso (generalmente por sedimentación). Por esta razón, y también porque el atascamiento es normalmente un problema, el uso de tamices demasiado finos o con abertura pequeña no es muy normal. (Rarmalho, 1996).

2.2.1.1.1 Residuos retenidos en rejas de barras.

Los residuos de tamaño grande consisten en desechos tales como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, raíces de árboles, plásticos, y trapos. También se puede separar materia orgánica. El contenido en trapos puede ser importante, y se ha estimado visualmente que representa entre el

60% y el 70% del volumen total de residuos en rejillas de 25 mm a 100 mm de separación entre barras respectivamente. Los residuos de tamaño grueso tienen un contenido en materia volátil muy alto (del 80 % al 90 % o más), con un contenido de materia seca del 15% al 25% y una densidad entre 640 kg/m^3 y 960 kg/m^3 . (Metcalf & Eddy, 1998).

2.2.1.1.2 Residuos retenidos en tamices.

Los residuos finos tienen contenidos de sólidos volátiles que varían entre el 65% y el 95%. En comparación con los residuos gruesos, su densidad es ligeramente inferior mientras que la humedad es algo mayor. Debido a la presencia de materia putrescible, incluida la materia fecal patógena, es necesario manejar y eliminar los residuos adecuadamente. Los residuos finos contienen cantidades substanciales de grasas y espumas, razón por la que requieren similar atención. (Metcalf & Eddy, 1998).

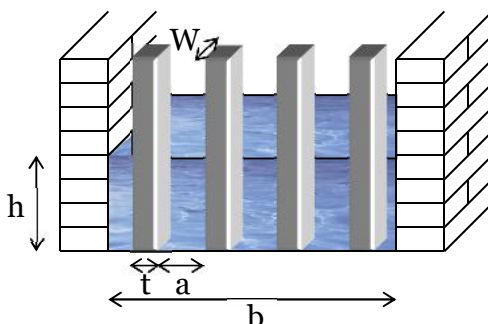
La velocidad es un factor a ser tomado en cuenta, si es muy baja existirá un aumento indeseable de material retenido y por otro lado si la velocidad es muy alta existirá un arrastre del material por efecto del empuje del flujo y la presión sobre las barras. Por esta razón es conveniente que la velocidad oscile entre $0,50 \text{ m/s}$ y $0,60 \text{ m/s}$ antes de entrar a la rejilla y $0,60 \text{ m/s}$ a $0,75 \text{ m/s}$ a la salida de la misma. (Rivera, 2005).

La rejilla está compuesta por dos tipos de dispositivos:

-)] Dispositivo de retención: Constituido por barras con determinado espesor “t” y que además están espaciadas a determinada distancia “a”, como se observa en la Figura 2.3. donde se muestran las partes de la rejilla nominadas convencionalmente.
-)] Dispositivos de remoción: Constituidos por elementos complementarios que se ocupan de retirar todos los sólidos retenidos, se denominan rastrillos o garfios los cuales retiran mecánicamente cada determinado tiempo el material retenido. Este material podrá ser dispuesto posteriormente en un relleno sanitario controlado separando previamente la materia inorgánica que pueda ser reciclada mediante procesos específicos (vidrios, plásticos y otros).

2.2.1.1.3 Parámetros de Diseño.

Figura 2.3. Partes de una reja



Fuente: Elaboración Propia

Se asumirá dimensiones de ancho y profundidad de la barra con una inclinación respecto a la horizontal evitando pérdidas de carga apreciables. Existen distintos tamaños de reja según su tipo para distintas plantas de tratamiento, de manera convencional es posible clasificarlas como en la Tabla 2.1 mostrado a continuación:

Tabla 2.1. Tipos de Rejas según sus dimensiones

Tipo	Groseras (plg)	Medianas (plg)	Finas (plg)
t x W	3/8 * 2	5/10 * 2	¼ * ½
t x W	3/8 * 2 ½	3/8 * 1 ½	3/8 * 1 ½
t x W	½ * 1 ½	3/8 * 2	½ * 2

Fuente: Elaboración Propia

La inclinación convencional de las rejas se presenta según el tipo utilizado, generalmente si se trata de rejas manuales 30 a 45° y en mecánicas desde 45 incluso hasta 90° de inclinación, ambas con respecto a la horizontal. (Rivera, 2005).

Proceso de cálculo:

Se diseña para caudal máximo horario y se verifica para caudal máximo, medio y mínimo. El área útil de diseño de la reja estará dada por:

$$A_u = \frac{Q_{m-n}}{v} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

-) Q_{m-n} = caudal máximo horario
-) v = velocidad, (0.60 m/s – 0.75 m/s)

La eficiencia de la reja es la relación entre el área libre y el área total del canal de llegada, entonces si se considera el espaciamiento entre barras (a) y el espesor de cada una de ellas (t), se llega a la siguiente relación:

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

-) E = eficiencia
-) a = espaciamiento entre barras
-) t = espesor de las barras

La sección total del canal de llegada (S) estará dada por los datos encontrados (área útil y eficiencia), luego adoptando una sección rectangular es posible dimensionar la base de la siguiente manera:

$$S = \frac{A_U}{E}, \quad S = b * h \quad \rightarrow \quad b = \frac{S}{h}$$

Una vez determinado el ancho b se calcula la “Velocidad de aproximación”, V comprendida en un rango entre 0,50 – 0,60 m/s. (excepcionalmente se acepta 0,4 para Qmin y 0,75 para Qmax). (Rivera, 2005).

La pérdida de carga de acuerdo a la fórmula de Kirchner es:

$$hf = k * \frac{t}{a}^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen}^2 \gamma \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

-) hf = Pérdida de carga en m.
-) k = factor dependiente de la barra (forma)
-) a = espaciamiento entre barras (m).
-) t = espesor de barra (m)
-) v = velocidad en m/s.
-) γ = ángulo respecto a la horizontal.

2.2.1.2 Desarenadores.

Se trata de una estructura hidráulica capaz de remover partículas discretas o arenas en el flujo que proviene de la reja (partículas discretas, son aquellas que no cambian de forma, tamaño ni peso específico en el tiempo o durante el proceso de sedimentación). Este dispositivo también remueve sólidos como limos, arcillas, cáscaras, huesos, semillas, residuos de café molido, cenizas, y una amplia variedad de este tipo, llegando incluso hasta ciertos minerales que se depositan en el desarenador por efecto de su peso propio. De esta manera evita el taponamiento de tuberías y reduce el depósito de material en los canales, protegiendo equipo mecánico, bombas de abrasión y otros equipos sofisticados. (Castrillón, 2000).

2.2.1.2.1 Tipos de desarenadores

- a) Tipo detritus (son los más conocidos y utilizados)
 - J Desarenador de flujo horizontal (convencional): Las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. Son generalmente de forma rectangular y alargada, dependiendo en gran parte de la disponibilidad de espacio y de las características geográficas. La parte esencial de estos es el volumen útil donde ocurre la sedimentación.
 - J Desarenadores de flujo vertical: El flujo se efectúa desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube. Pueden ser de formas muy diferentes: circulares, cuadrados o rectangulares. Se construyen cuando existen inconvenientes de tipo locativo o de espacio. Su costo generalmente es más elevado. Son muy utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - J Desarenadores de alta tasa: Consisten básicamente en un conjunto de tubos circulares, cuadrados o hexagonales o simplemente láminas planas paralelas, que se disponen con un ángulo de inclinación con el fin de que el agua ascienda con flujo laminar. Este tipo de desarenador permite cargas superficiales mayores que las generalmente usadas para desarenadores convencionales y por tanto éste es más funcional, ocupa menos espacio, es más económico y más eficiente.

b) Tipo Vórtice:

Los sistemas de desarenación del tipo vórtice se basan en la formación de un vórtice (remolino) inducido mecánicamente, que captura los sólidos en la tolva central de un tanque circular. Los sistemas de desarenador por vórtice incluyen dos diseños básicos: cámaras con fondo plano con abertura pequeña para recoger la arena y cámaras con un fondo inclinado y una abertura grande que lleva a la tolva. A medida que el vórtice dirige los sólidos hacia el centro, unas paletas rotativas aumentan la velocidad lo suficiente para levantar el material orgánico más liviano y de ese modo retornarlo al flujo que pasa a través de la cámara de arena.

Es importante que se realice principalmente una remoción de partículas inertes, no materia orgánica putrescible. (Castrillón, 2000).

2.2.1.2.2 Zonas de un desarenador

a) **Zona de entrada**

Cámara donde se disipa la energía del agua que llega con alguna velocidad de la captación. En esta zona se orientan las líneas de corriente mediante un dispositivo denominado pantalla deflectora, a fin de eliminar turbulencias en la zona de sedimentación, evitar chorros que puedan provocar movimientos rotacionales de la masa líquida y distribuir el afluente de la manera más uniforme posible en el área transversal. En esta zona se encuentran dos estructuras:

) Vertedero de exceso: Se coloca generalmente en una de las paredes paralelas a la dirección de entrada del flujo y tiene como función evacuar el exceso de caudal que transporta la línea de aducción en épocas de aguas altas. Si no se evacua el caudal excedente, por continuidad, aumenta el régimen de velocidad en la zona de sedimentación y con ello se disminuye la eficiencia de la unidad.

Se debe diseñar para evacuar la totalidad del caudal que pueda transportar la línea de aducción, cuando se dé la eventualidad de tener que evacuar toda el agua presente (*By Pass*).

) Pantalla deflectora: Separa la zona de entrada y la zona de sedimentación, en ella se realizan ranuras u orificios, de acuerdo con el diseño, a través de los cuales el agua pasa con un régimen de velocidades adecuado para que ocurra la sedimentación, no debe sobrepasar de

0,3 m/s. Los orificios pueden ser circulares, cuadrados o rectangulares, siendo los primeros los más adecuados.

b) **Zona de sedimentación**

Sus características de régimen de flujo permiten la remoción de los sólidos del agua. La teoría de funcionamiento de la zona de sedimentación se basa en las siguientes suposiciones:

- J El asentamiento sucede como lo haría en un recipiente con fluido en reposo de la misma profundidad.
- J La concentración de las partículas a la entrada de la zona de sedimentación es homogénea, es decir, la concentración de partículas en suspensión de cada tamaño es uniforme en toda la sección transversal perpendicular al flujo.
- J La velocidad horizontal del fluido está por debajo de la velocidad de arrastre de los lodos, una vez que la partícula llegue al fondo, permanece allí. La velocidad de las partículas en el desarenador es una línea recta.

En esta zona se encuentra la siguiente estructura: Cortina para sólidos flotantes: Es una vigueta que se coloca en la zona de sedimentación, cuya función es producir la precipitación al fondo del desarenador de las partículas o sólidos como hojas y palos.

c) **Zona de lodos**

Recibe y almacena los lodos sedimentados que se depositan en el fondo del desarenador. Entre el 60% y el 90% queda almacenado en el primer tercio de su longitud. En su diseño deben tenerse en cuenta dos aspectos: la forma de remoción de lodos y la velocidad horizontal del agua del fondo, pues si esta es grande las partículas asentadas pueden ser suspendidas de nuevo en el flujo y llevadas al afluente.

d) **Zona de salida**

Esta zona tiene por objeto mantener uniformemente distribuido el flujo a la salida de la zona de sedimentación, para mantener uniforme la velocidad.

El tipo de estructura de salida determina en buena parte la mayor o menor proporción de partículas que pueden ser puestas en suspensión en el flujo.

Existe una gran variedad de estructuras de salida, las cuales se podrían clasificar en: vertederos de rebose, canaletas de rebose, orificios (circulares o cuadrados). (Castrillón, 2000).

2.2.1.2.3 Parámetros de Diseño

- Velocidad de escurrimiento

- a) Generalmente se proyectan como mínimo dos unidades para realizar el proceso de operación y mantenimiento sin interrumpir el funcionamiento de la planta de tratamiento.
- b) La velocidad recomendable es del orden de 0,30 m/s.
- c) Velocidades inferiores a 0,15 m/s permiten la deposición simultánea de cantidades relativamente grandes de materia orgánica.
- d) Velocidades mayores a 0,40 m/s causan arrastre del material sedimentado.
- e) Velocidad mínima = 0,25 m/s. Velocidad máxima = 0,40 m/s.
- f) Velocidad de sedimentación, para 15°C, $\rho = 2,65 \text{ gr/ml}$, $V_s = 2,0 \text{ cm/s}$.
- g) Longitud del desarenador $L = 25 H_{\text{max}}$.

- Velocidad de sedimentación o Tasa de Aplicación Superficial

a) Tasa de aplicación superficial

Para 0,2 mm., 2,65 g/ml, 15°C y aplicando la teoría de sedimentación de partículas discretas, $V_s = 2 \text{ cm/s}$ aprox. Se recomienda tasas de aplicación de 600 a 1920 ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$). (Rivera, 2005).

En los desarenadores de flujo horizontal tipo “canal” (los más empleados), la profundidad del agua para el caudal mínimo, medio y máximo es determinada por la unidad subsecuente de control de velocidad generalmente tipo Parshall. (Rivera, 2005).

Proceso de cálculo

Para desarenadores de sección rectangular y de flujo horizontal, el medidor deberá estar diseñado (generalmente de tipo Parshall) como se verá en la descripción de esta unidad. Entonces se

determinará el desnivel del fondo de dicho canal respecto al desarenador, considerando para todo este proceso un desarenador de flujo horizontal será posible encontrar primero el ancho en la sección de control con la relación:

$$W = \frac{V_h * b}{\sqrt{2gh}} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

$$Q = 9.8 * W * h^{3/2} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$\frac{Q_m}{Q_m} = \frac{(h_m - Z)}{(h_m - Z)} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

-) Q_m = Caudal mínimo (m^3/s)
-) Q_m = Caudal máximo (m^3/s)
-) h_m = Tirante mínimo calculado para Q_m (m)
-) h_m = Tirante máximo calculado para Q_m (m)
-) Z = Desnivel en el fondo del canal Parshall respecto al desarenador.
-) $H = h_m - Z$ (tirante de agua en el desarenador)

Longitud del desarenador

Asumiendo el caso óptimo en el cual la velocidad horizontal de entrada de flujo es 0,30 m/s, para la cual la velocidad de sedimentación es aproximadamente 0,015 m/s y admitiendo además una turbulencia a la entrada y salida del desarenador de un 50%, la longitud de esta unidad estará dada en promedio por la siguiente expresión:

$$L = 25 * H \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Donde:

-) L = Longitud del desarenador
-) H = calculado para el caudal máximo.

Ancho del desarenador

Para una sección de flujo rectangular, y asumiendo que se conoce la altura de lámina de agua gracias a la unidad subsecuente (medidor de caudal), el ancho estará dado por:

$$B = \frac{Q}{H * V_h} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

-) B = ancho del desarenador
-) H = altura de lámina de agua
-) V_h = Velocidad horizontal

Presencia de materia orgánica

Como la sedimentación de partículas minerales pesadas es realizada en función a la velocidad de sedimentación, es imposible evitar la deposición simultánea de arena y materia orgánica.

Las partículas orgánicas que están cerca del fondo sedimentan simultáneamente con los granos de arena que entran más arriba en el desarenador y que tienen mayor velocidad de sedimentación.

Cantidad de material retenido en el desarenador

La cantidad de material retenido por los desarenadores depende del sistema de alcantarillado (separado o combinado), del tipo de ocupación del área servida (industrial, residencial, pavimentada o no) y además de otros factores (los sistemas combinados o unitarios arrastran mayor material que los separados).

Para la remoción o limpieza del material retenido se podrá disponer de procesos simples (manuales), retirando el agua y removiendo la arena periódicamente, o también mecanizados en los que se realiza una remoción periódica del material retenido a través de bandas sin fin por ejemplo (equipos rotatorios, helicoidales). (Rivera, 2005).

2.2.1.3 Dispositivo de control de velocidad y medición de caudal.

El caudal de agua residual varía con el tiempo por lo que puede variar la altura de la lámina de agua en los canales. Para que se mantenga la velocidad prácticamente constante en los desarenadores es indispensable que el diseño de la sección de flujo esté en concordancia con las características del elemento controlador aguas abajo

Tipos de dispositivos:

- Vertedor proporcional: Éste es un vertedor de orificio con una zona convergente que reduce proporcionalmente el área de paso con el incremento de caudal.
- Vertedor Sutro: La descarga de operación debe ser en la zona convergente. La sección del vertedero Sutro debe construirse para alturas de lámina de agua superiores al H correspondiente al caudal máximo.
- Medidor Parshall: Es el más utilizado como dispositivo de control de velocidad y medición de caudal. Consta de cuatro partes principales: transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente.

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente (Pedroza, 2001).

Fundamentalmente, el medidor Parshall es una reducción de la sección que obliga al agua a elevarse y volver a caer hasta la elevación que se tenía, en este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la elevación del agua y el caudal o gasto.

La velocidad de flujo aumenta en la sección de aproximación y pasa por la profundidad crítica (número de Froude = 1). Para aguas residuales generalmente se utilizan medidores Parshall con descarga libre. (Ver Figura 2.4.)

El incremento brusco de la pendiente acelera el flujo creando un régimen supercrítico, el cual se resuelve en un salto hidráulico al encontrar pendiente negativa en la sección característica W, en la que el régimen es subcrítico.

-) Y = Ordenada el punto de medición
-) A = Longitud de las paredes de la sección convergente
-) D = Ancho de la entrada de la sección convergente
-) H = Longitud de las paredes de la sección divergente
-) K = Diferencia de elevación entre la salida y la cresta

Se debe aclarar que los valores de M, P y R no se reportan en algunos casos, ya que es posible que se realice una transición entre el canal y el aforador con una pared vertical a 45° respecto a la horizontal del aforador.

La tabla 2.2. se muestran las medidas estándar de los aforadores Parshall, de acuerdo al anterior gráfico que muestra las diferentes partes constituyentes. Generalmente el ancho de cresta y el caudal son parámetros para la elección del tamaño más adecuado.

Tabla 2.2. Tipos de Rejas según sus dimensiones

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25.4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	---	29	---	---	8	13
50.8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	---	43	---	---	16	25
76.2	467	311	457	178	178	457	152	305	25	---	57	---	---	25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0.3048	1.372	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.448	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.524	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.676	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.829	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.981	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.134	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.286	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.438	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.743	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
3.6580	3.048	2.032	4.877	4.470	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
4.5720	3.505	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	---	0.457	---	---	0.305	0.229
6.0960	4.267	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
7.6200	5.029	3.353	7.620	8.941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
9.1440	5.791	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
12.1920	7.315	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
15.2400	8.839	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229

Fuente: E, Pedroza. 2001.

El uso de otros tipos de unidades dependerá del tipo de afluente a tratar (desgrasadores, trituradores).

2.2.2 Tratamiento Primario

Se denomina también tratamiento físico, remueve sólidos sedimentables (70% - 90%) y parte de la materia orgánica, en cierta medida y como resultado del proceso de sedimentación. También remueve parte de Nitrógeno y Fósforo (hasta un 15%), DBO (40% – 50%) y coliformes (40% – 60%). Reduce de esta manera la carga para el tratamiento secundario. (*Rivera, 2005*).

Las unidades convencionalmente utilizadas en esta fase de tratamiento son tanques de sedimentación primaria, digestores o estabilizadores de lodos y lechos de secado de lodos que pueden ocupar grandes extensiones de terreno.

2.2.2.1 Tanques sedimentadores.

El proceso de sedimentación se realiza para retirar la materia sólida fina, orgánica e inorgánica, de las aguas servidas; el agua pasa por un dispositivo de sedimentación (tanque sedimentador primario) donde se depositan los materiales para su posterior eliminación.

La sedimentación de sólidos en líquidos está gobernada por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuanto mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuando menor es la viscosidad del líquido.

2.2.2.1.1 Clasificación de sedimentadores

Acorde a la dirección de flujo pueden ser de flujo horizontal o vertical, por otro lado, según la forma de su sección transversal podrían ser rectangulares, cuadrados o circulares. Considerando la pendiente del fondo del sedimentador, es posible catalogarlo como poco inclinado (1% - 4%), bastante inclinado o con pozo de lodos).

Una característica muy importante entre los sedimentadores es el lugar donde sean dispuestos, lo que los clasifica como sedimentadores primarios o secundarios.

- Los sedimentadores primarios:** Son colocados como primer tratamiento, y se diseñan para obtener reducciones en sólidos en suspensión del 40% al 60% y reducciones de DBO₅ entre el 25% y el 35%. Los tiempos de retención varían entre 0,5 horas y 1,5 horas. El tiempo de retención de lodos debe ser menor de 5 horas para evitar la anaerobiosis. Los valores más usuales de velocidad van de 2,0 a 2,6 m y la velocidad de paso varía de 18 m/h a 80 m/h. Hay decantadores rectangulares y circulares.
- Los sedimentadores secundarios:** Son colocados luego del tratamiento secundario y reciben las partículas no consumidas o descompuestas de manera biológica por la unidad antecedente, decantándola por precipitación de acuerdo a la teoría de sedimentación.

Otra manera de diferenciar los sedimentadores es de acuerdo al sistema de remoción de lodos, ya sea este intermitente, simple o mecánico. Por último, de acuerdo a su funcionamiento podrían ser sedimentadores comunes, tanques sépticos o tanques tipo Imhoff.

2.2.2.2 Parámetros de Diseño

- Tasa de Aplicación Superficial (Velocidad de sedimentación).** Se debe tomar en cuenta un equilibrio adecuado entre la tasa de aplicación superficial y los porcentajes de remoción, ya que a tasas muy elevadas existen bajos porcentajes de remoción, pero tasas muy bajas conducen también a diseños antieconómicos.

$$A_s \times \frac{Q}{V_s} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

- A_s = Área Superficial (m²)
- Q = Caudal de diseño (m³/h)
- V_s = TAS = Tasa de aplicación superficial o velocidad de sedimentación (m/h)

- Tiempo de retención hidráulica.** En cuanto al tiempo de retención, si se eleva este parámetro se presentan incrementos pequeños de remoción, aunque los diseños tienden a ser antieconómicos y se corre el riesgo de caer en una inminente septicidad. Por el contrario, tiempos muy bajos conducen a bajas eficiencias.

$$V = Q * T \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Donde:

- J $V =$ Volumen de sedimentación (m^3)
- J $Q =$ Caudal de diseño (m^3/h)
- J $Tr =$ tiempo de retención (h)

- Una vez fijados los primeros parámetros iniciales de Tasa de Aplicación Superficial y Tiempo de retención, queda determinada la altura del mismo, la cual estará comprendida generalmente entre los 1,5 m y 3,0 m.
- Se recomienda adoptar alturas entre 2,0 m y 2,5 m para sedimentadores primarios y mayores o iguales a 2,70 m para secundarios.
- Para que no exista resuspensión de las partículas depositadas en la zona de lodos, la velocidad de flujo horizontal debe ser menor o igual a 10 mm/s.
- Se deberán tomar en cuenta las relaciones dimensionales y detalles constructivos propios de estas unidades de tratamiento (disponibles en bibliografía especializada).
- No se hace mayor detalle en este tipo de tratamiento debido a que las características del lombrifiltro indican que no es fundamental su utilización; en este sentido solo se hace mención de sus características principales.

2.2.3 Tratamiento Secundario o Biológico

Los microorganismos y algunos macroorganismos, se pueden utilizar para descomponer contaminantes en aguas residuales. Este tipo de tratamiento de agua se denomina tratamiento biológico o secundario. Durante el tratamiento biológico del agua los microorganismos descomponen la materia orgánica del agua, nitratos y fosfatos. A continuación, se realiza una breve explicación de cómo funcionan esos procesos de tratamiento biológico (el proceso de mineralización y biofloculación se realiza en presencia de oxígeno).

Eliminación de materia orgánica

El principio fundamental de tratamiento se traduce en convertir los Sólidos Orgánicos Inestables en Flocs biológicos (Compuestos inorgánicos estables)

La purificación biológica del agua se lleva a cabo para disminuir la carga de compuestos orgánicos disueltos. Los microorganismos, principalmente las bacterias, realizan la descomposición de estos

compuestos. Hay dos categorías principales de tratamiento biológico: tratamiento aeróbico y tratamiento anaeróbico. El tratamiento aeróbico del agua significa la descomposición de materia orgánica que necesita oxígeno durante su proceso de descomposición. El tratamiento anaeróbico del agua significa descomposición de materia orgánica por medio de microorganismos que no utilizan oxígeno. (Rivera, 2006).

Eliminación de amoníaco y nitratos

La eliminación de amonio y nitratos es bastante compleja. Es un proceso de tratamiento del agua que necesita conversión tanto aeróbica como anaeróbica para eliminar los contaminantes. En la fase de conversión aeróbica hay dos especies bacterianas implicadas. Primero, las bacterias Nitrosomonas convierten el amoníaco en nitrito. Segundo, las bacterias Nitrobacter convierten los nitritos en nitratos. Estos dos procesos juntos son comúnmente conocidos como el proceso de nitrificación.

Entonces las bacterias anaeróbicas convierten los nitratos en nitrógeno gaseoso atmosférico. Este proceso se llama desnitrificación. La desnitrificación es realizada por bacterias anaeróbicas, tales como Achromobacter, Bacillus y Pseudomonas. La primera fase de la desnitrificación es el proceso inverso a la nitrificación, vuelve a transformar el nitrato en nitrito. La segunda fase de la desnitrificación transforma el nitrito en nitrógeno gas. Este gas puede ser liberado a la atmósfera sin causar daños ambientales.

Eliminación de fosfatos

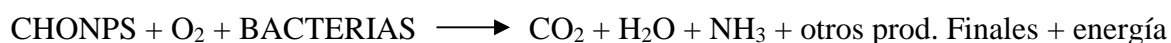
Los fosfatos pueden ser eliminados de las aguas residuales por una bacteria aeróbica (oxígeno-dependiente), llamada Acinetobacter. Esta bacteria acumula polifosfatos en los tejidos celulares. Acinetobacter puede absorber una mayor cantidad de fosfatos de la que necesita para su síntesis celular. La cantidad extra de fosfatos es almacenada en las células en forma de polifosfatos.

El almacenamiento de polifosfatos hace que las Acinetobacter sean capaces de sobrevivir temporalmente en circunstancias anaeróbicas. Cuando las Acinetobacter residen en una zona anaeróbica en las aguas residuales, absorben ácidos grasos y los almacenan como sustancias de reserva. Durante este proceso, las polifosfatos se descomponen para obtención de energía, haciendo

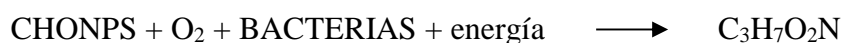
que se liberen fosfatos en la zona aeróbica. Cuando las Acinetobacter entran en la zona aeróbica absorben fosfatos y los almacenan en forma de polifosfatos en los tejidos celulares. Esto hace que el contenido en fosfatos del agua residual disminuya.

Actividades propias de la descomposición biológica aerobia

I. Oxidación



II. Síntesis



III. Respiración Endógena



2.2.3.1 Sistemas biológicos aerobios convencionales

- Biomasa suspendida
 -) Lodos Activados
 -) Aireación extendida
- Película Fija
 -) Filtros Biológicos o Percoladores
 -) Discos Biológicos Rotatorios.

La elección de uno de estos sistemas, dependerá de las consideraciones económicas (energía y mano de obra), de la situación climática de la región y la disponibilidad de personal entrenado para la operación y mantenimiento, como factores principales a la hora de tomar una decisión al respecto.

2.2.3.1.1 Filtros percoladores

En el filtro percolador el agua residual es rociada sobre la piedra y se deja que se filtre a través del lecho, este filtro consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que los microorganismos se adhieren. El tamaño de las piedras de que consta el medio filtrante está entre 2,5 cm – 10,0 cm de diámetro, la profundidad de estas varía de acuerdo al diseño particular, generalmente de 0,9 m – 2,4 m con un promedio de profundidad de 1,80 m. Algunos filtros percoladores usan medios filtrantes plásticos con profundidades de 4,0 m – 12,0 m. Actualmente

el lecho del filtro es circular y el agua residual se distribuye por la parte superior del filtro mediante un distribuidor giratorio, los filtros poseen un sistema de desagüe inferior el cual recoge el agua tratada y los sólidos biológicos que se han separado del medio, este sistema de desagüe es inferior es importante, tanto como instalación de recogida como por su estructura porosa a través de la que el aire puede circular .

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por la población de microorganismos adherida al medio, esta materia orgánica es absorbida en la película biológica, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios, a medida que los microorganismos crecen el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película, por lo tanto, en la superficie del medio, se crea un ambiente anaerobio, conforme esto ocurre la materia orgánica absorbida es metabolizada antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. Como resultado de no disponer de una fuente orgánica externa de carbón celular, los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante se hallan en la fase de crecimiento endógena, en la que pierden la capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones el líquido a su paso a través del medio filtrante arrastra la película y comienza el crecimiento de una nueva capa biológica, esta pérdida de la película biológica es función de la carga hidráulica y orgánica del filtro, donde la carga hidráulica origina las velocidades de arrastre y la orgánica influye en las velocidades del metabolismo de la película biológica, en base a estas cargas hidráulica y orgánica los filtros pueden dividirse en dos tipos: de baja y alta carga.

"La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de protistas, incluyendo bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. Suelen también encontrarse algunos animales superiores como gusanos, larvas de insectos y caracoles."

Los microorganismos predominantes en el filtro percolador son las bacterias facultativas, las que con las bacterias anaerobias y aerobias, descomponen la materia orgánica del agua residual, los hongos son los causantes de la estabilización del agua residual, pero su contribución es importante solo a un pH bajo o con ciertas aguas residuales industriales, las algas crecen únicamente en las capas superiores del filtro a donde llega la luz solar, esta es la razón por la que las algas no toman parte directa en la degradación de residuos, pero durante el día añaden oxígeno al agua residual que se está filtrando, sin embargo, desde el punto de vista operacional las algas pueden causar el

taponamiento de la superficie del filtro por lo que se consideran un estorbo. De los protozoos que se encuentran en el filtro los del grupo ciliados son los predominantes su función no es estabilizar el agua residual sino controlar la población bacteriana. Los animales superiores se alimentan de las capas biológicas del filtro, ayudando así a mantener la población bacteriana en estado de gran crecimiento o rápida utilización del alimento.

Las poblaciones individuales de la comunidad biológica sufren variaciones en toda la profundidad del filtro en función de los cambios en la carga orgánica, hidráulica, composición del agua residual afluyente, disponibilidad del aire, temperatura, pH y otros.

La instalación de sedimentación es muy importante en el proceso del filtro percolador, pues es necesaria para eliminar los sólidos suspendidos que se desprenden durante los períodos de descarga en los filtros, si se utiliza recirculación una parte de estos sólidos sedimentados podría ser reciclado y el resto debe desecharse, pero la recirculación de los sólidos sedimentados no es tan importante en este proceso, la mayoría de los microorganismos se adhieren al medio filtrante, la recirculación podría ayudar a la inoculación del filtro, sin embargo, los objetivos principales de ésta son disminuir los contaminantes de las aguas residuales domésticas y hacer que el efluente del filtro se ponga en contacto de nuevo con la población para el tratamiento adicional, la recirculación del agua clarificada casi siempre forma parte de los sistemas de filtros percoladores de alta carga. (Metcalf & Eddy, 1998).

\Clasificación de filtros percoladores

Los filtros percoladores se clasifican, según su carga hidráulica y su carga orgánica en dos tipos (Rivera, 2006):

- Filtro de alta carga.
- Filtro de baja carga

2.2.3.1.2 Lodos activados

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Ardern y Lockett y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. Existen diversas versiones del proceso original, el de "AIREACIÓN PROLONGADA

CON RECIRCULACIÓN DE LODOS", tiene una gran aceptación en el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades principalmente por su gran efectividad entre el 75% y el 95%, poca producción de lodo y sencillez en su funcionamiento.

Desde el punto de vista de funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de fangos activados, se realiza a través de un tanque o reactor biológico, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión y se realiza la oxidación de la materia orgánica. El contenido del reactor se conoce con el nombre de "licor mixto".

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores, que también sirve para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.

Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada.

Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema (fango en exceso).

En el proceso de fangos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. En el reactor, o tanque biológico, las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas.

El de aireación prolongada es una variante del proceso de flujo en pistón con recirculación, donde todas las partículas que entran en el reactor biológico permanecen en el interior del mismo durante idéntico periodo de tiempo.

El agua procedente del tratamiento primario, pasa al tanque de aireación donde es mezclada con aire disuelto que fluye por los difusores siendo uniforme este suministro de aire disuelto que fluye por los difusores a lo largo de toda la longitud del tanque. Durante el periodo de aireación se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario. Este proceso necesita de una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación. (Metcalf & Eddy, 1998).

2.2.3.1.3 Lagunas aireadas

"Una laguna aireada es un estanque en el que se trata agua residual que atraviesa de forma continua. El oxígeno es generalmente suministrado por aireadores superficiales o unidades de aireación por difusión. La acción de los aireadores y la de las burbujas de aire que ascienden desde el difusor mantiene en suspensión el contenido del estanque. Dependiendo del grado de mezclado, las lagunas suelen clasificarse en aerobias o aerobias – anaerobias."

El contenido de una laguna aireada está totalmente mezclado y no sedimentan ni los sólidos biológicos producidos a partir del agua residual ni los sólidos entrantes. Siendo la función esencial de estas lagunas la conversión de los residuos. Según el tiempo de detención, el efluente contendrá de un tercio a un medio del valor de la DBO entrante en forma de tejido celular, sin embargo, los sólidos deben eliminarse por sedimentación antes de que el efluente pueda descargarse. Se observa también que, si los sólidos son retornados a la laguna, no existe diferencia entre este proceso y uno modificado de fangos activados, dicho retorno de sólidos suele utilizarse para mejorar el rendimiento durante los meses invernales.

En las lagunas aerobias – anaerobias (facultativas), el contenido del estanque no se encuentra totalmente mezclado, y gran parte de los sólidos biológicos producidos y de los sólidos entrantes se sedimentan. Cuando la cantidad de sólidos comienza a crecer, parte de ellos sufrirán una descomposición anaerobia. El efluente de estas lagunas estará altamente estabilizado. (Metcalf & Eddy, 1998).

2.2.4 Tratamiento Terciario o “Avanzado”

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los

fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización (Baca, y otros, 2014).

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento.

Remoción de nutrientes

Las aguas residuales nutrientes pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo, amoníaco) o eso puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir las toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y sofocar los pescados y la otra vida acuática. Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares bajos, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la limpieza del agua. El retiro del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco al nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción el nitrato es convertido al gas del nitrógeno (desnitrificación), que se lanza a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno. Algunas veces, la conversión del amoníaco tóxico al nitrato solamente se refiere a veces como tratamiento terciario.

El retiro del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo. En este proceso específicamente bacteriano, llamadas polifosfato, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades de fósforo dentro de sus células. Cuando

la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los biosólidos bacterianos tienen un alto valor del fertilizante. El retiro del fósforo se puede alcanzar también, generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre). El lodo químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso del tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, el retiro químico del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar.

Desinfección

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede cubrir a los organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, cloro, o la luz ultra violeta (U.V.)

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en Norteamérica debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente. Además, porque el cloro residual es tóxico para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente declorado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

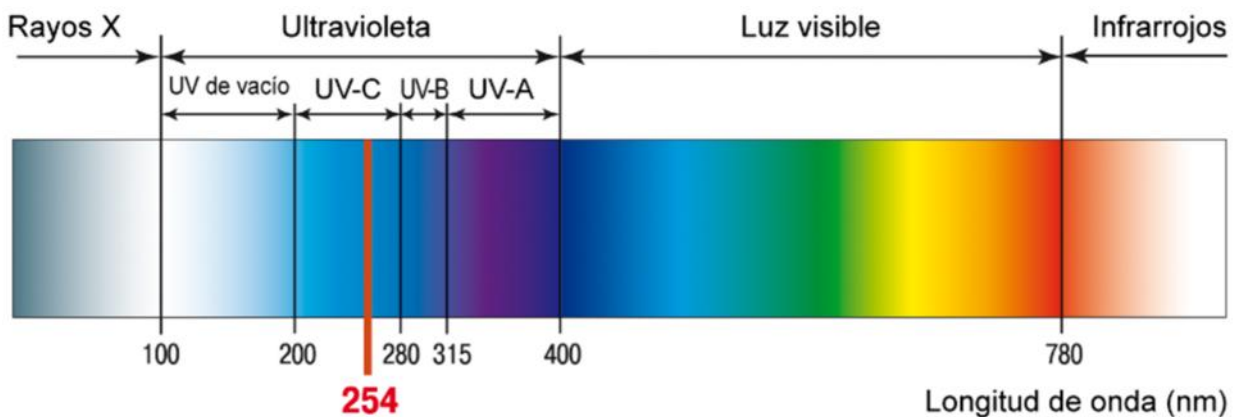
Luz Ultravioleta

La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en el Reino Unido debido a las preocupaciones por los impactos del cloro en el tratamiento de aguas residuales y en la cloración orgánica en aguas receptoras. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura

genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están cubiertos de la radiación UV.

En la Figura 2.5. se muestra cual es el rango de esta luz en la escala de ondas, como podrá verse, no se trata de una intensidad apreciable por el ojo humano, sin embargo, posee un rango amplio en el cual mueren los microorganismos.

Figura 2.5. Rango de luz UV en la escala de ondas



Fuente: Tecnología ultravioleta

En el espectro UV, el rango UV-C se considera el de la radiación más potente. Además, es el que más fácilmente absorben el ADN, el ARN y las proteínas. A menudo este rango se conoce como “germicida” dada su alta eficiencia de desinfección frente a las bacterias y los virus. El mayor efecto germicida se produce a 205-280 nm, mientras que la mayor sensibilidad germicida de los microorganismos se produce a 265 nm.

El ozono O_3 es generado pasando el O_2 del oxígeno con un potencial de alto voltaje resultando un tercer átomo de oxígeno y que forma O_3 . El ozono es muy inestable y reactivo y oxida la mayoría del material orgánico con que entra en contacto, de tal manera que destruye muchos microorganismos causantes de enfermedades. El ozono se considera ser más seguro que el cloro porque, mientras que éste tiene que ser almacenado en el sitio (altamente venenoso en caso de un lanzamiento accidental), el ozono es colocado según lo necesitado. La ozonización también produce pocos subproductos de la desinfección que la desinfección con cloro. Una desventaja de

la desinfección del ozono es el alto coste del equipo de la generación del ozono y que se requiere personal altamente especializado.

Cuando la energía ultravioleta es absorbida por el mecanismo reproductor de las bacterias y virus, el material genético (ADN/ARN) es modificado de manera que no puede reproducirse. Los microorganismos se consideran muertos y los riesgos de enfermedades, son eliminados.

Los rayos ultravioletas emiten una energía fuerte, electromagnética, estos rayos se encuentran en el espectro natural de la luz del sol. Están en la escala de ondas cortas, invisibles, con una longitud de onda de 100 nm a 400 nm (1 nanómetro= 10^{-9} m).

2.3 Alternativas de tratamiento para aguas servidas

2.3.1 Lodos Activados

2.3.1.1 Descripción del proceso

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua servida y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor. (Metcalf & Eddy, 1998)

En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de sustrato alimenticio. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, los cuales tiene doble función:

-) Producir mezcla completa
-) Agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle

2.3.1.2 Operaciones básicas

a. Pretratamiento de aguas servidas

En algunos casos las aguas servidas deben ser acondicionadas antes de pasar al proceso de lodos activados, esto es debido a que ciertos elementos inhiben el proceso biológico.

Algunos de estos casos son:

-) Sustancias dañinas a la activación microbiana, tal como la presencia de cloro.

-)] Grandes cantidades de sólidos. Se utilizan cribas o rejillas en un tanque de sedimentación primaria para los sólidos fácilmente sedimentables.
-)] Aguas residuales con valores anormales de pH. Se debe realizar un proceso de neutralización el cual es indispensable para el desarrollo bacteriano.
-)] Desagües con grandes fluctuaciones de caudal y calidad de las aguas residuales incluyendo concentración de DBO. Se homogeniza las aguas en un tanque de igualación.

b. Remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un Tanque de Aireación

Las aguas servidas crudas mezcladas con el lodo activado retornado del tanque sedimentador final es aireado hasta obtener 2 mg/l de oxígeno disuelto o más. En este proceso, una parte de materia orgánica contenida en los desagües es mineralizada y gasificada y la otra parte es asimilada como nuevas bacterias.

c. Separación sólido-liquido en el tanque de sedimentación

Los lodos activados deben ser separados del licor mezclado provenientes del tanque de aireación. Este proceso se realiza en el tanque de sedimentación, concentrándolos por gravedad. La finalidad de este proceso es conseguir un efluente clarificado con un mínimo de sólidos suspendidos y asegurar el retorno del lodo. (Metcalf & Eddy, 1998)

d. Descarga del exceso de lodo

Con la finalidad de mantener la concentración de los lodos activados en el licor mezclado a un determinado valor, una parte de los lodos son eliminados del sistema a lechos de secado o espesadores con filtros mecánicos (filtros prensa, de cinta etc.) para posteriormente disponer el lodo seco como residuo sólido. (Metcalf & Eddy, 1998)

2.3.2 Reactor UASB

Los reactores UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también conocido como RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente), son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos.

El reactor UASB podría reemplazar al sedimentador primario, al digestor anaerobio de fangos, al paso de tratamiento aerobio y al sedimentador secundario de una planta convencional de tratamiento aerobio de aguas residuales. Sin embargo, el efluente de reactores UASB normalmente necesita un tratamiento posterior, para lograr degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos. Este postratamiento puede referirse a sistemas convencionales aerobios como lagunas de estabilización, plantas de fangos activos y otros. (Metcalf & Eddy, 1998)

Cuando el agua servida entra al reactor, se mezcla con la materia orgánica presente en ella con el lodo anaerobio presente en la zona de digestión, produciéndose entonces la digestión anaerobia, esto resulta en la producción de biogás y en el crecimiento de lodo. El líquido escurre en dirección ascendente y pasa a través de las aberturas existentes en el separador de fases para dirigirse a la parte superior del reactor. Debido a la forma del separador de fases, el área disponible para el escurrimiento ascendente del líquido hacia la parte superior aumenta en la medida en que el líquido se aproxima a la superficie del agua, entonces la velocidad del líquido tiende a disminuir. De esta manera los flóculos de lodo que son arrastrados y pasan por las aberturas del separador de fases hacia la parte superior del reactor encuentran una zona tranquila. En esta zona es posible que, a una determinada altura, la velocidad de sedimentación de una partícula sea mayor que la velocidad de arrastre del líquido, en ese caso la partícula acabara siendo depositada sobre la superficie inclinada del separador de fases. Cuando se acumula una masa suficientemente grande de sólidos, estos se deslizan, entrando nuevamente a la zona de digestión en la parte inferior del reactor. Gracias a la retención de los sólidos en la superficie del separador de fases es que se logra descargar un efluente con bajo contenido de sólidos sedimentables. (Speece, 1996).

Las burbujas de biogás que se forman en la zona de digestión, suben por la fase líquida hasta encontrarse con la fase líquido-gas existente debajo del separador de fases. En esta interface las burbujas se desprenden, formando una fase gaseosa. Flóculos de lodo, eventualmente adheridos a las burbujas, pueden subir hasta interface, pero luego del desprendimiento del gas tienden a decantar para ser nuevamente parte de la masa del lodo en la zona de digestión. Las burbujas de gas que se forman verticalmente debajo de las aberturas del separador de fases (necesarias para el escurrimiento de la fase líquida hacia la parte superior del reactor), deben ser desviadas para evitar que, al pasar por las aberturas, causen turbulencia en la zona de sedimentación. Por lo tanto, se

colocan obstáculos, que actúan como deflectores de gas debajo de las aberturas (Van Haandel & Lettinga, 1994).

2.3.3 Laguna de maduración

La eficiencia de remoción de los microorganismos patógenos y de nutrientes es baja en los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (DAFA = UASB). De modo que existe la necesidad de complementar el tratamiento.

En el caso de un pre – tratamiento eficiente (UASB) la carga orgánica será baja. Estableciéndose un ambiente predominantemente aeróbico en la laguna de postratamiento, independientemente del régimen de flujo y de la profundidad. De este modo la laguna puede ser efectiva para la remoción de patógenos, aplicándose un flujo tubular. La posibilidad de usar un flujo tubular antes de la digestión anaerobia del agua residual permite una reducción más significativa del área de la laguna. (Van Haandel & G. Lettinga, 1994)

Las lagunas de maduración se diseñan para disminuir el número de organismos patógenos sin la necesidad de la cloración ya que las bacterias y virus mueren en un tiempo razonable, mientras que los quistes y huevos de parásitos intestinales requieren más tiempo, se utilizan principalmente para el tratamiento de desechos orgánicos solubles y para el pulimiento de los efluentes de tratamiento secundarios como una segunda etapa a continuación de una laguna de estabilización u otro tipo de tratamiento. (Von sperling, 1996)

El objetivo principal de las lagunas de maduración, es la remoción de organismos patógenos y la remoción adicional de DBO5, constituyen una alternativa bastante económica para desinfectar el efluente por métodos más convencionales que la cloración. (IMTA, 2000)

a. Factores físicos, químicos y microbiológicos que intervienen en el mecanismo de auto dependencia de las lagunas.

Existen varios factores que afectan las condiciones hidráulicas y biológicas de las lagunas de estabilización. Algunos de esos factores pueden tenerse en cuenta al elaborar un proyecto. Asimismo, existe otros factores que no son controlables por el hombre: fenómenos meteorológicos, vientos, temperatura, precipitaciones pluviales, radiación solar y evaporación. Además de estos,

pueden considerarse las variaciones locales, como infiltración y características de las aguas residuales que recibirán el tratamiento.

b. Factores que afectan en el proceso

Numerosos factores influyen en el proceso tales como:

-) Sedimentación
-) Radiación solar
-) pH elevado
-) Bajos niveles de CO₂
-) Altas concentraciones de O₂ disuelto
-) Acción bactericida de toxinas producidas por las algas
-) Presencia de depredadores
-) Tiempo de permanencia
-) Diseño hidráulico

2.3.4 Coagulación – Floculación

2.3.4.1 Descripción del proceso

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño (10^{-6} a 10^{-9} m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre partículas. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. (Khemis y Col., 2006).

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{+3} , Al^{+3}) junto con poli electrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser la floculación:

-) Sales de Fe^{+3} : Pueden ser FeCl_3 o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de uno u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

- J) Sales de Al^{+3} : suele ser $Al_2(SO_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.
- J) Polielectrolitos: pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) anionicos (ácidos poli acrílicos) o cationicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficiencia como el coste es mucho mayor.

No hay reglas generales en cuanto a que coagulante es más eficaz en cada caso. Normalmente, para un agua residual concreta, se hace un denominado “ensayo de jarras” donde se analiza la eficacia de los distintos productos (o mezclas de los mismos) así como el pH y dosificación óptima. (Khemis y Col., 2006).

Los equipos en los que se lleva a cabo este proceso, suelen contar con dos partes bien diferenciadas: una primera donde se adicionan los reactivos, y se somete el agua a una fuerte agitación y durante un corto periodo de tiempo, con el objetivo de conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloides para llevar a cabo la coagulación. A continuación, se pasa a una zona donde la agitación es mucho menos intensa y donde el agua permanece más tiempo. En este caso el objetivo es que se produzca la floculación. De esta forma la materia en suspensión tiene unas características mucho más adecuadas para su eliminación mecánica. (Khemis y col. 2006).

2.3.5 Lombrifiltro

El sistema de tratamiento de Aguas servidas y Residuos Industriales Líquidos Orgánicos (Riles) denominados Toha o LOMBRIFILTRO básicamente la tecnología consiste en un filtro percolador compuesto por diferentes lechos filtrantes y por lombrices de la especie *Eisenia Foetida*. El agua servida es rociada por un medio de un sistema filtrante, quedando retenida la materia orgánica, la que posteriormente es consumida por las lombrices. Es posible identificar este tratamiento como de tipo secundario (biológico).

2.3.6 Origen del sistema.

El sistema ha sido desarrollado y patentado en Chile por el Dr. José Tohá Castella. Entre las distintas investigaciones que el Profesor Tohá llevó a cabo, destaca el método de tratamiento de aguas residuales que lleva su nombre Toha o lombrifiltro. En 1994, con el apoyo de FONDEF, se construyó en CEXAS, Melipilla (Chile) la primera planta de tratamiento de aguas servidas utilizando esta nueva tecnología para una población de 1000 personas.

2.3.7 Principio de operación del lombrifiltro

El “lombrifiltro”, consiste básicamente en una cámara que contiene tres capas de material inerte, la primera es una capa de soporte hecha con piedras, gravilla, plásticos u otro material, luego viene una capa de soporte con aserrín, finalmente una capa un medio filtrante. El medio filtrante es una capa de humus, en la cual habitan lombrices y microorganismos.

La materia orgánica del agua a tratar, es consumida, oxidada y transformada en presencia de oxígeno, por un extenso grupo de lombrices y una rica flora bacteriana que es concebida en el proceso generando principalmente anhídrido carbónico, y agua tratada. Según experiencias de diversos estudiosos de la lombricultura, aproximadamente un tercio de la materia orgánica inicial pasa a constituir masa corporal de lombriz y el resto se convierte en sus propias fecas (humus), las que pueden ser aprovechadas posteriormente como fertilizantes naturales del suelo apto para el reuso como abono agrícola o de jardines.

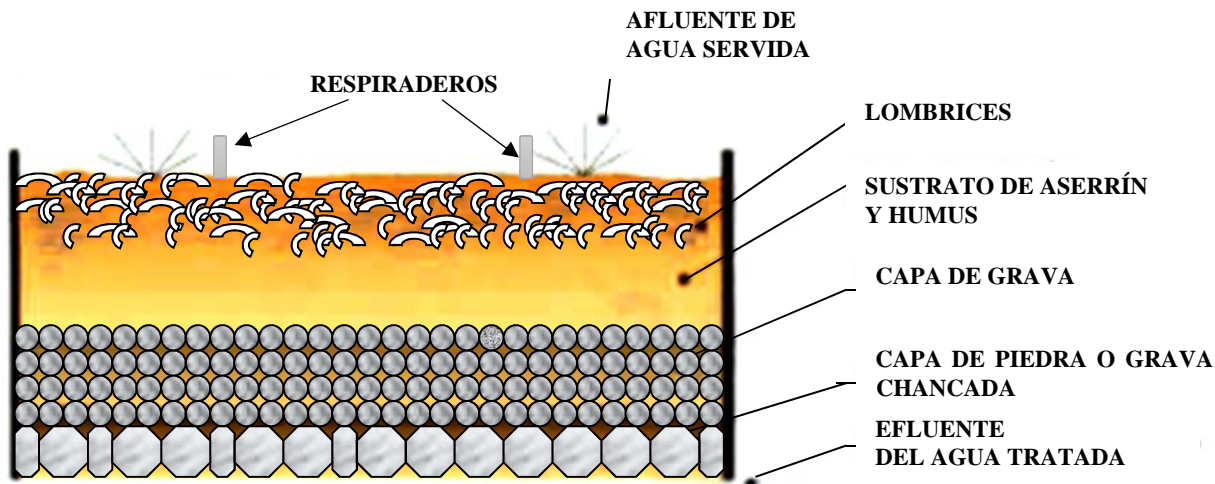
Las lombrices son los principales obreros de este proceso y adicionalmente generan en el interior del filtro un incansable movimiento y un conjunto de micro túneles que evitan taponamientos del sistema. Cabe mencionar el impresionante grado de fecundación de larvas que generan un subproducto más al sobrepasar la población estimada; este excedente podría ser aprovechado como alimento para aves y/o peces.

2.3.8 Composición del Lombrifiltro.

El Lombrifiltro es la parte central de la unidad que garantiza en el proceso un tratamiento de aguas servidas en fase sólida y no en medio líquido. La unidad principal donde se encuentra el lombrifiltro, comprende básicamente un depósito dentro del cual se colocan los estratos que

formarán parte del tratamiento de aguas. En orden descendente se dispone de la manera señalada en la Figura 2.6.

Figura 2.6. Estratos componentes de un Lombrifiltro



Fuente: Elaboración Propia

Según investigaciones del sistema de lombrifiltro, el estrato superior comprende un conjunto de cientos a miles de lombrices con función degradadora de la materia orgánica. A continuación, se coloca una capa de aserrín, hojas y/o pequeños fragmentos de madera que servirán como sustrato de desenvolvimiento, crecimiento, reproducción y locomoción de las lombrices depositadas y donde se retendrá aproximadamente un 95% de las partículas orgánicas del afluente.

Hasta aquí, las dos primeras capas mencionadas conforman en conjunto la denominada “Capa Activa” del sistema, la cual es fundamental para el proceso de tratamiento y es la principal para llegar a este objetivo.

Continuando con el diseño planteado del lombrifiltro, debajo de estos dos lechos, una capa de grava e incluso una de piedras de mayores dimensiones, tendrán la función de retener materia no consumida por las lombrices y trabajar con un conjunto de microorganismos asociados que cumplan esta función. El filtro además contempla un sistema de ventilación y doble fondo que favorece el escurrimiento de agua y la microbiología aerobia.

A continuación, se presentará una breve descripción de cada una de estas capas, en orden descendente como fueron mencionadas anteriormente:

2.3.8.1 Capa activa

El tratamiento está garantizado por una Capa Activa compuesta según recomendaciones teóricas de una mezcla inicial de: 1/3 de cortezas de pino calibradas entre 25-40 mm. y 2/3 de viruta de coníferas no tratadas. La viruta contiene alrededor de un 20% en volumen de aserrín de madera de pino. Sobre esta primera capa se deposita un lombricompost de 10 cm de espesor, con el respectivo inoculante de lombrices (*Eisenia andrei*, Bouché, 1972) y de al menos 6 meses de formación, el cual se mezcla al momento de la instalación con cortezas de pino calibradas entre 10-25 mm (50%), Este inoculante se aplica después de la "puesta en agua inicial" del lombrifiltro (una a dos semanas).

Según experiencias chilenas, el tipo de viruta y aserrín de madera componentes de la capa activa y sustrato de desenvolvimiento de las lombrices, no se encuentra catalogada con tanto detalle y el lombricompost se compone por otro tipo de lombrices (*Eisenia Foetida* o lombriz roja Californiana). Según criterio propio, esto se debe a que en Sud-América existe una gran riqueza de madera proveniente de Coníferas, por el contrario, en Europa se detecta mayor presencia de Latifoliadas por lo cual se debe realizar una selección más minuciosa. La incidencia de esta selección y la importancia de la misma será uno de los factores a tomarse en cuenta en la discusión final del presente estudio.

2.3.8.1.1 Propiedades Funcionales

Según distintas opiniones, la capa activa es: un suelo artificial con lombrices, un reactor microbiológico en fase sólida o también un tratamiento físico por filtración-adsorción. Pero estas opiniones son limitadas ya que describen sólo algunas de las propiedades de la capa activa, mientras que el agua en su curso de purificación se somete a todas ellas. A continuación, estas propiedades son presentadas sucesivamente. (Bouche & Soto, 2004)

Un sistema trifásico de filtrado

A nivel físico el lombrifiltro es un sistema trifásico compuesto de sólidos muy distintos esencialmente de origen orgánico cuyas propiedades se describen clásicamente en pedología por los especialistas del humus. La importancia de la capilaridad y de las fuerzas de Van der Waals en

este material lo distingue notablemente de los elementos minerales o sintéticos utilizados en sistemas de filtración-percolación. (Arena, elementos de relleno en plásticos y otros)

Entre los elementos sólidos del Lombrifiltro hay una porosidad que deja lugar a las fases líquidas y gaseosas; al paso del agua y del aire. La materia orgánica tiene un elevado poder de retención del agua. La importancia de las dos fases aire + agua depende de la importancia de esta porosidad que resulta de la granulometría y de las estructuras internas esponjosas de los elementos orgánicos sólidos, de ahí la importancia de la elección de los constituyentes. La circulación del agua (infiltración-percolación) y el aire dependen de la organización de esta porosidad: discontinua o con mini canales, como las galerías de las lombrices.

La Capa Activa es un filtro cuyos elementos se comprimen (pérdida de cerca de un 10% del volumen en 4 semanas). La adición de una mezcla de cortezas de pino con viruta permite aumentar la percolación. Aunque no cuantificable las vías de percolación son esencialmente infra milimétricas. Las partículas aportadas por el agua servida se retienen sobre o en la superficie de la Capa Activa, eso crea una tendencia a la obturación de las vías de circulación del agua debido a la acumulación de las partículas. Pero esto, es corregido por el trabajo de las lombrices. (Bouche & Soto, 2004).

2.3.8.1.2 Componente principal: la lombriz.

La lombriz, es también un eficiente "fertilizador" porque el HUMUS que produce, aumenta la disponibilidad de nutrientes aprovechables por las plantas. De las más de 8000 especies conocidas de lombrices, solamente 2500 han sido clasificadas y solamente tres de ellas han podido ser domesticadas, siendo *Eisenia foetida* la más conocida y aquella que es utilizada en más del 80% de los criaderos del mundo.

Clasificación según Storer y Usinguer, 1961.

Desde el punto de vista ecológico se la clasifican en:

-) **Epigeas:** viven sobre la superficie del suelo, se alimentan de materia orgánica y producen humus.

-) **Endogeas:** son las más conocidas, viven dentro del suelo, cavan galerías horizontales, comen y defecan tierra.
-) **Anecicas:** viven dentro del suelo, cavan galerías verticales y durante la noche suben a la superficie del suelo alimentándose de materia orgánica.

Los tres grupos de lombrices son sin duda el gran arado de la tierra y constituyen el elemento más importante en el rol de los EDAFOECOSISTEMAS. La lombriz utilizada, pertenece al género de anélidos terrestres segmentados, dentro de la clase oligoquetos epigeos. Esta es una especie bastante resistente, vive en ambientes húmedos y rehúye a la luz solar directa ya que una lombriz expuesta a los rayos del sol muere en unos pocos minutos.

Características físicas

La lombriz roja californiana tiene entre 3 mm y 5 mm de diámetro, mide entre 6 cm y 8 cm de largo, y pesa entre 0,24 g y 1,4 g (cuando es adulta pesa en promedio 1 g).

Es de color rojo oscuro, respira por medio de su piel y puede llegar a producir, bajo ciertas condiciones, hasta 1300 lombrices al año. La lombriz californiana avanza excavando en el terreno a medida que come, depositando sus deyecciones y convirtiendo este terreno en uno mucho más fértil.

La lombriz carece de dientes, por lo que succiona el alimento húmedo de las aguas por la boca. Tiene 5 corazones y 6 pares de riñones; vive en promedio 4 años y puede llegar a los 15 con las condiciones adecuadas, además de no contraer ni transmitir ningún tipo de enfermedades. La cantidad de anélidos es proporcional a la dosis de alimento suministrado, sin embargo, las densidades poblacionales pueden llegar a ser bastante altas por unidad de superficie incluso coexistiendo unas 50000 unidades/m².

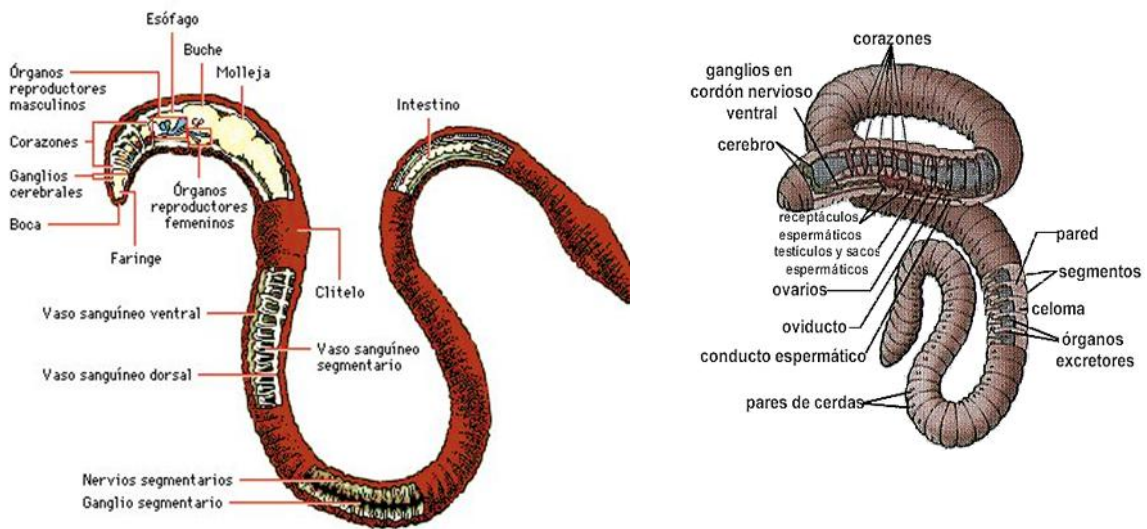
Reproducción

La eisenia foetida es hermafrodita insuficiente (tiene ambos sexos, pero necesita aparearse para reproducirse). Se aparean generalmente cada 7 días, casi siempre de noche y requiere dos o tres horas para la formación de una ooteca (la que contiene los huevos); posteriormente deposita de 2 a 20 embriones que a su vez después de 14 a 21 días de incubación eclosionan, originando lombrices con capacidad de moverse y nutrirse de inmediato. Para tener una mejor idea de la

complejidad de la anatomía de la lombriz, se presenta una descripción de su anatomía en las Figuras 2.7. y 2.8.

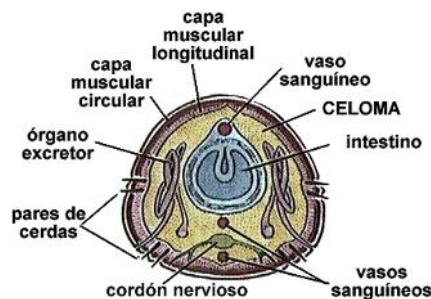
Las lombrices californianas pueden criarse en cualquier lugar del planeta que posea, al menos, una temporada con temperaturas promedio de 20°C, es decir cualquier lugar con climas templados. Estas lombrices, a 21°C tienen la máxima capacidad de reproducción, por lo tanto, se reproducirán más durante los meses cálidos. Cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.

Figura 2.7. Anatomía de *Eisenia foetida*



Fuente: UNNE, 2007

Figura 2.8. Corte transversal de *Eisenia foetida*



Fuente: EMCC, 2007

2.3.8.2 Capa Pétreo.

Debajo de la capa activa, se encuentran dos estratos más que se componen por dos granulometrías pétreas respectivamente.

2.3.8.2.1 Capa de grava

Primeramente, una capa de gravas de preferencia silíceas de granulometría entre 3/4" y 1 1/8", tendrá las siguientes funciones principales:

-) Permitir una circulación de aire: Garantizando una circulación considerable de oxígeno a través de la unidad, se coadyuva al desarrollo de microorganismos de tipo aerobio comprendidos por una serie de especies que cumplen la función (junto a las lombrices) de tratar el agua de manera natural y dejando de lado la emisión de fuertes olores característicos de sistemas sin presencia de oxígeno.
-) Desarrollo de la Biomasa: Los microorganismos aerobios, conforman una película biológica en la superficie de la grava denominada Biomasa o Biopelícula.

El agua residual se descarga sobre el lombrifiltro, por medio de aspersores, sistemas rotatorios u otro tipo de mecanismos que rocían la superficie superior del lecho. Todas las gotas escurren por gravedad sobre el medio y caen libremente después por los micro-drenes realizados por las lombrices.

En todos los procesos de Biopelícula, los microorganismos producidos por la oxidación de la materia orgánica se van adhiriendo inicialmente a las paredes del medio pétreo y posteriormente se forman varias capas biológicas sobrepuestas. Esto ocasiona que los microorganismos de la última capa (la exterior) tengan mayor contacto con el alimento y con el oxígeno del aire; en cambio, la capa adherida a la superficie pétreo (la interior) cada vez tiene menos contacto con el sustrato y el oxígeno, por lo que en esta zona se dificulta la alimentación y respiración; hasta que muere y se desprende. En todos los casos, en la superficie pétreo que queda libre al desprenderse la película envejecida, se inicia el crecimiento de una nueva biopelícula. Es un proceso dinámico repetitivo.

En consecuencia, el efluente de los sistemas de Biopelícula, que contiene flóculos de microorganismos parcialmente muertos, se conduce a un tanque de sedimentación, en donde, por

la fuerza de gravedad, los flocs (aglutinación de partículas por proceso de agregación iónica entre ellas aumentando su densidad y peso) caen al fondo, y el agua clarificada se obtiene por la parte superior.

2.3.8.2.2 Capa de grava chancada o bolones de piedra

Este último estrato comprende “grava chancada” de también de preferencia silíceo de aproximadamente 16 cm. de diámetro en promedio, que tiene por objetivo principal lograr el denominado “Efecto chimenea” que consiste en la circulación de aire a través de todo el lombrifiltro, garantizando de esta manera (y con los tubos de aireación) la presencia de oxígeno que impida que el sistema adquiera condiciones anóxicas con una consecuente muerte de los micro y macroorganismos ya descritos.

2.3.8.3 Las colonias microbianas y sus regulaciones

Los microorganismos son inoculados espontáneamente en la Capa Activa por los substratos de origen, el aire y las aguas servidas. Una extraordinaria gama microbiana está presente. Solo aquéllas que se encuentran en microsituaciones favorables de actividad (ambiente, substrato nutritivo...) se desarrollan y aseguran sus funciones. (Bouche & Soto, 2004).

En resumen, son estas microsituaciones en la Capa Activa que regulan las actividades microbianas. Las cuales son esencialmente de lisis (descomposición) del substrato, bajo el efecto de exoenzimas muy específicas producidas esencialmente por cada colonia microbiana en micro situación favorable. A continuación, se describirán las funciones que deteriorarán globalmente las materias orgánicas. (Bouche & Soto, 2004).

2.3.8.4 La degradación de las materias orgánicas

El conjunto de los microorganismos y lombrices, extraen la energía para su mantenimiento y su crecimiento de la degradación de las materias orgánicas. Excepto el soporte de la Capa Activa (lombricompost, aserrín, viruta y cortezas trituradas), los elementos que se deterioran más rápidamente son esencialmente las partículas, los compuestos moleculares e incluso los elementos

iónicos aportados por las aguas servidas. Con respecto a lo anterior y simplificando una complejidad indefinible, se tomarán cuatro casos:

- a) Un material simple: el papel higiénico. Éste está compuesto de celulosa, un polímero de la glucosa y fructosa. Los microorganismos celulolíticos producen exoenzimas que hidrolizan (cortan) las cadenas de celulosa en sus moléculas asimilables: fructosa y glucosa. Después de la asimilación, los organismos descomponen estos dos elementos utilizando oxígeno ($C_6H_{12} + 12 O_2 = 6CO_2 + 6 H_2O + \text{energía bioquímica}$). La energía bioquímica es utilizada por los celulolíticos y otros organismos para su propio crecimiento.
- b) Un material más complejo y resistente: la queratina, un constituyente principal de los recortes de uñas, pelos y cabellos que el agua servida doméstica transporta. Este compuesto que contiene nitrógeno es relativamente resistente a la descomposición, la cual requiere varios meses. Los gérmenes queratinolíticos descomponen lentamente la queratina retenida en o sobre la Capa Activa. Ellos liberan en asociación con otros gérmenes los compuestos carbonados (gas CO_2), hidrogenados (H_2O), y también nitrógeno (NH_4^+ principalmente).
- c) Las materias estériles: granos de arena, pequeñas hojas de aluminio o polietileno. De éstos, los microorganismos y las lombrices no pueden ni extraer de la energía, ni descomponerlos. Estos materiales se acumularán lentamente en el lombrifiltro sin obstruir el funcionamiento hasta ahora de manera previsible.
- d) Finalmente, las colonias microbianas: después de haberse desarrollado se mueren y se descomponen sin constituir agregados que colmaten el lombrifiltro, ya que las lombrices las consumen (a la diferencia de “zoogloea” en las plantas de tratamiento con lechos bacterianos).

Teniendo en cuenta que muchas otras moléculas orgánicas, como los pesticidas degradables aportados por el agua son también biodegradados por los microorganismos y las lombrices, que los mineralizan en gas carbónico (CO_2), agua (H_2O) y también en elementos químicos como el nitrógeno, el fósforo, el azufre, el zinc, liberados en iones o pequeñas moléculas. El carbono, el hidrógeno y el oxígeno se reincorporan sin problema (H_2O , CO_2) en el ecosistema global, pero otros elementos químicos pueden presentar problemas. (Bouche & Soto, 2004).

2.3.9 Otros Factores importantes del lombrifiltro.

Para un óptimo funcionamiento del sistema, existen factores que afectan a su desarrollo y que pueden convertirse tanto en un aspecto negativo si no se los toma en cuenta adecuadamente, como en una ventaja si se decide enfrentarlas de la manera correcta y con conocimiento de sus características. A continuación, se menciona algunas de las más importantes.

2.3.9.1 La temperatura

La temperatura determina un estado de agitación de los constituyentes del lombrifiltro (átomos, moléculas, actividad motriz de las lombrices). Dentro de una cierta gama de temperatura (de 0° a 30°C en el lombrifiltro), ella modifica sobre todo la velocidad de las reacciones microbianas, químicas y la actividad motriz de las lombrices, según aceleraciones logarítmicas (para los organismos), aumentos lineales (en las reacciones químicas) e incluso reducciones (solubilidad del oxígeno en el agua). Fuera de estos límites o las reacciones se retrasan y/o se detienen (en el caso en el que el agua se congele, en particular), o hay desorganización funcional de las interacciones biofísicoquímicas (muerte por gangrena de *Eisenia Foetida*; eliminación de la microflora psicrófila principalmente). (*Modificado del XIV Coloquio internacional de zoología del suelo y ecología, 2004*)

Dentro de la gama térmica mencionada, el aumento de la temperatura produce una aceleración global de aporte de oxígeno por los microorganismos y existe una reducción de la difusión de O₂ en la fase hídrica.

Afortunadamente, el rango señalado demuestra también una capacidad de acción en regiones de climas extremos de nuestro país; se ha demostrado por experiencias en el exterior, que este rango comprende valores incluso más extremos, el caso de la Antártica Chilena en la cual se registran temperaturas muy bajas y el sistema opera de manera satisfactoria; también en el campamento minero de “Las Condes”, a más de 3000 msnm donde se aplicó el sistema con temperaturas inferiores a 0 °C, sin protección e incluso con presencia de nieve.

La temperatura del lombrifiltro es casi homogénea debido a que depende esencialmente de la temperatura del agua de la red (líquido dominante) regada sobre éste. No obstante, los efectos de la evaporación, radiaciones, reacciones exotérmicas y la temperatura ambiente desempeñan un papel no cuantificable, fuera de la consideración de la aspersion, y tienen algunos efectos, en

particular, sobre la actividad biológica superficial. (*XIV Coloquio internacional de zoología del suelo y ecología, 2004*)

2.3.9.2 pH.

Para aguas residuales de tipo doméstico, los valores convencionales provocados en su mayoría por los tensoactivos propios de detergentes o productos de limpieza, son tratados sin problemas por las lombrices ya que trabajan con rangos bastante amplios de variación. Se ha demostrado que un aumento o reducción de pH de ± 2 , permite a las lombrices realizar el trabajo de manera adecuada y sin provocar mayores inconvenientes.

Lo anterior se traduce en un rango comprendido aproximadamente entre 5 y 9 de pH. En casos en los que se presenten mayores variaciones de acidez o basicidad, se deberá realizar un análisis del comportamiento de las lombrices, y en situaciones particulares contemplar la posibilidad de realizar una estabilización previa al ingreso del lombrifiltro.

2.3.9.3 La humedad.

Una de las principales necesidades de las lombrices es mantener una humedad óptima para su desarrollo y reproducción; es importante lograr esta condición con el equilibrio suficiente como para que las lombrices no perciban una desecación de su medio de desarrollo (lo cual provocaría una migración hacia el exterior del lombrifiltro) o en su defecto una humedad excesiva provocando que los organismos se ahoguen y consecuentemente mueran por exceso de agua.

La tasa de agua recomendada para que ninguno de estos dos extremos se presente, se encuentra comprendida entre los 6 ml/s y 8 ml/s, garantizando de cualquier manera que la humedad del medio se mantenga cercana a un 75%.

2.3.9.4 El tiempo

El tiempo de purificación de los contaminantes retenidos por filtración y adsorciones sigue un proceso de descomposición de las materias orgánicas en los suelos naturales, ella se prolonga por decenas (o centenas de años), para fracciones infinitesimales. Todo depende de las moléculas iniciales y de sus recombinaciones bioquímicas (al humedecimiento), dado que se elimina la parte fundamental en algunos meses (por ejemplo, papel, pelos y uñas...). Esta velocidad de purificación orgánica es mucho más lenta que la percolación del agua. El lombrifiltro a diferencia de los tratamientos en suspensión líquida, permite una descomposición casi completa y evita la

producción de lodos, debido a que sus constituyentes se descomponen en la Capa Activa y no por esparcimiento sobre suelos agrícolas o por incineración. Al contrario, es necesario completar periódicamente la Capa Activa del lombrifiltro que se descompone, la contribución orgánica por el agua no compensa la degradación global. (Bouche & Soto, 2004).

Según una estimación por una experiencia en Francia (proyecto Recylaqua), se ha podido determinar que la Capa Activa podría requerir un cambio en un tiempo de aproximadamente 12 años, para el cual el lombrifiltro requeriría una renovación de esta parte fundamental donde se desarrollan las lombrices, aunque cada cierto tiempo (uno o dos años aproximadamente) el humus que las lombrices generan puede ser extraído del sistema y aprovechado en el suelo como abono natural.

2.4 Diseño de la unidad de tratamiento.

Lamentablemente, en la poca bibliografía existente, no se encuentra un conjunto de actividades estudiadas y óptimas que permitan llevar a cabo el proceso de diseño. Se tratan tan solo de recomendaciones aisladas y puntuales a cerca del proceso mismo, que en realidad en la mayoría de los casos son fruto de experiencias empíricas obtenidas en la aplicación del LOMBRIFILTRO en determinada región geográfica.

No obstante, se pretende en el presente trabajo compilar todas estas recomendaciones elaborando un documento guía que mencione todas estas recomendaciones ya que las mismas fueron la base para desarrollar el Proyecto de Tesis.

2.4.1 Consideraciones para el tratamiento preliminar

La utilización de una reja, desarenador o separador de sólidos, como unidades básicas de esta fase del proceso, es muy importantes en plantas de tratamiento a escala real.

Es importante mencionar que las lombrices son capaces de ingerir partículas de diámetro igual o menor a 2 mm. por lo cual las unidades componentes de esta parte del tratamiento deben garantizar que no lleguen a la capa activa partículas de mayor diámetro ya que las mismas podrían tapan el lombrifiltro.

Los desechos orgánicos que se retengan en las rejas (cámara de separador de solidos) servirían también de alimento a las lombrices en caso de ser triturados. En algunas plantas de tratamiento,

estos desechos son secados al sol y triturados o colocados sin triturar en la capa superior (capa activa) de esta manera al secarse adquieren una contextura más frágil que permite que las lombrices puedan consumirlas de igual manera.

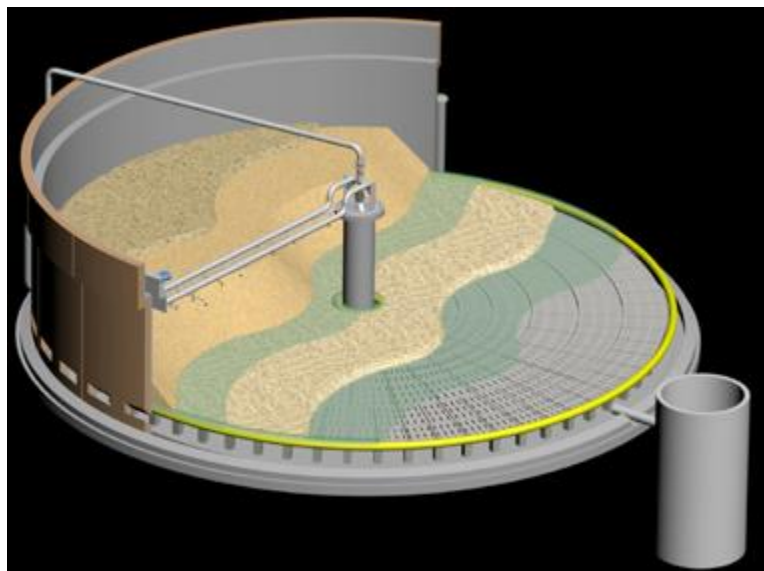
2.4.2 Diseño del Lombrifiltro

Conviene que el agua sea distribuida lo más uniformemente posible sobre la capa activa

2.4.2.1 Forma del Tanque

Existen muchas experiencias con filtros rectangulares y cuadrados, en los cuales la aspersion no se distribuye uniformemente y quedan “zonas muertas” o cortocircuitos, es por esta razón que se considera la forma cilíndrica (corte transversal circular), la más apta de acuerdo a los sistemas de distribución del agua residual (aspersores o brazos giratorios generalmente). Esta hipótesis fue demostrada además por la experiencia francesa que utiliza esta forma mejorando en gran medida el sistema de distribución realizado en Montpellier con la ayuda de brazos giratorios a manera de filtros biológicos, como se ve en la Figura 2.9.

Figura 2.9. Esquema del sistema, sus estratos y características



Fuente : M Bouché, P. Soto, 2004

2.4.2.2 Área superficial

Existen muchas recomendaciones para elegir el área superficial de este tanque. Muchas indican que no se llegó a optimizar este parámetro y solo es fruto de experiencias prácticas. Sin embargo, existen ciertas recomendaciones que, aunque son bastante variables indican que es posible calcular un promedio de 890 litros por día para cada metro cuadrado de lombrifiltro solo considerando el tratamiento de las aguas residuales de tipo domésticas.

2.4.2.3 Sistema de distribución

El sistema de distribución de las aguas servidas sobre el lombrifiltro puede realizarse por aspersión o por riego mediante goteo; la primera opción es la más utilizada, con lo cual se comprueba que la forma del tanque es muy importante ya que la aspersión tiene un rango de acción a partir del medio del lombrifiltro, y genera una circunferencia de riego. Para evitar la utilización constante de bombas, muchas veces también se utilizan sistemas de aspersión mediante brazos giratorios (como en filtros percoladores) que rotan sobre la capa superior del lombrifiltro.

Es recomendable que la distribución sea uniforme sobre el lecho superior del lombrifiltro, ya que se ha comprobado que las mejores eficiencias obtenidas en el sistema de tratamiento se obtienen cuando las lombrices, al sentirse protegidas y cómodas con el agua que se riega sobre la capa activa, suben a la superficie de la misma principalmente cuando existe la penumbra necesaria.

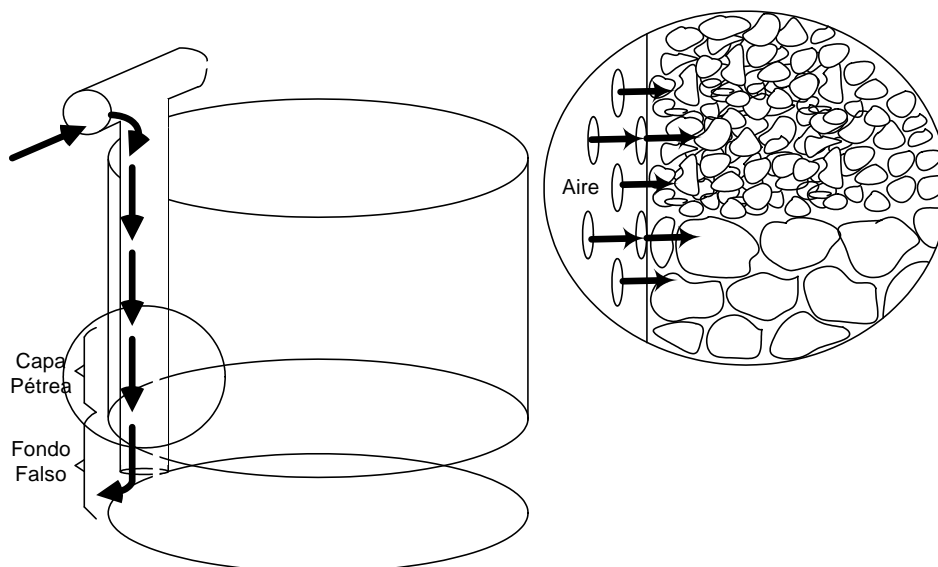
2.4.2.4 Sistema de circulación de aire

Para garantizar que el proceso sea enteramente aerobio, es necesario disponer tuberías de ventilación que se extiendan desde la parte superior del lombrifiltro hasta la capa inferior de piedra, en distintos lados del tanque principal; en muchos casos estas tuberías también se disponen a los lados del tanque. En ambos casos la parte inferior es perforada garantizando de esta manera el denominado “efecto chimenea”.

El “efecto chimenea” consiste en la circulación de aire por el interior del lombrifiltro. Esta circulación puede verse favorecida por la utilización de un doble fondo que garantice que el aire pase a lo largo de la tubería desde la parte inferior hasta la parte superior de la misma, aireando el sistema en el proceso mediante una serie de perforaciones en el tubo (para la capa pétreo principalmente. En la Figura 2.10 se muestra esquemáticamente el efecto logrado con estas tuberías de ventilación.

De acuerdo a la Figura 2.10, el ingreso de aire se produce por la parte superior del tubo y se transmite directamente a través del mismo a los estratos inferiores. Esta circulación de aire aumenta significativamente si consideramos el doble fondo proporcionado al sistema y además los micro túneles que las lombrices cavan a lo largo de toda su vida para acercarse al alimento. El proceso entonces garantizaría una constante circulación de aire a través de sus estratos componentes.

Figura 2.10. Sistema de ventilación – efecto chimenea



Fuente : Elaboración Propia

2.4.2.5 Altura de los estratos

Aunque la elección de estos parámetros aún es objeto de estudio, y no se tiene conocimiento acerca de una expresión que permita calcular estas alturas, se llevó a cabo un análisis de las experiencias utilizadas tanto en los casos de Chile. Se tomaron en cuenta, para 1 m² en superficie de lombrifiltro, los siguientes parámetros:

-) La capa inferior (capa de piedra chancada), sirve como medio de crecimiento de la biomasa en menor proporción a la inmediata superior (grava), ya que su principal labor es la de posibilitar la circulación de aire favoreciendo de esta manera al efecto chimenea. La altura de acuerdo a muchas experiencias se encuentra comprendida entre los 25 y 40 cm.
-) El estrato compuesto por grava, posibilita el crecimiento de un conjunto de microorganismos que realizan el tratamiento a nivel microscópico. Estos microorganismos

generan la denominada biomasa y se generan alrededor de cada piedrecilla componente del estrato, aprovechando su porosidad. La altura de acuerdo a experiencias varía entre los 25 y 40 cm.

- J) Sobre estos dos estratos se coloca una malla de separación que servirá como barrera entre la capa pétreo y la activa del lombrifiltro.
- J) La capa activa es la más variante, ya que en muchos casos se coloca desde 50 cm. y en otros esta altura llega hasta 1,2 m. Según experiencias francesas, la altura mínima utilizada en sus experiencias es de 1,00 m., sin embargo, considerando que se utiliza otro tipo de lombrices en nuestro medio (mayor tamaño y menor cantidad requerida), esta altura podría ser disminuida.

2.4.2.6 Puesta en marcha

El tiempo recomendado según (Rivera, 2006) para la puesta en marcha del sistema desde que las lombrices son sembradas en el estrato superior, es de dos semanas aproximadamente.

2.4.2.7 Características óptimas del medio

Si se consideran condiciones ideales, el lombrifiltro debería encontrarse en un lugar ventilado, que permita una aireación adecuada de los estratos. La temperatura de este ambiente en lo posible deberá ser superior a los 15°C para que las lombrices puedan reproducirse y trabajar adecuadamente (esto no significa que en temperaturas inferiores el sistema no funcione).

Otro aspecto importante es que no exista demasiada luz, ya que las lombrices huyen a la misma al ser fotosensibles disminuyendo así su capacidad de tratamiento si el medio es muy iluminado. Por esta razón conviene que el lombrifiltro no sea de vidrio, ya que las lombrices tenderán a ir al medio del tanque o en el peor de los casos a escapar del mismo.

Se debe garantizar una humedad media de la capa activa entre el 60 y 80% para que las lombrices se encuentren hidratadas. De igual manera el pH debe ser equilibrado si se quiere un comportamiento óptimo en el proceso.

La cantidad y calidad del sustrato de desenvolvimiento de las lombrices, es importante tanto para el agua como para los organismos vivos, ya que si existen demasiados finos se afectará al agua,

pero si no se cumple con los niveles recomendados, las lombrices no podrán moverse con facilidad en el medio.

Se debe recordar que ninguna de estas últimas recomendaciones es limitante para la construcción del lombrifiltro ya que ninguna fue estudiada en el medio para establecer sus límites. Se trata tan solo de recomendaciones para optimizar el conjunto.

2.5 Eficiencias de remoción.

Según se muestra en la bibliografía consultada acerca de varias experiencias de aplicación, el sistema presenta una alta eficiencia en la eliminación de los parámetros contaminantes del agua. El promedio encontrado para los distintos efluentes resultantes del proceso de tratamiento, se muestra en la tabla 2.3.

En este resumen se toman en cuenta solo algunos parámetros de estudio ya que las pocas empresas que aplican el sistema no proporcionan estos datos con demasiada frecuencia, sin embargo, se podrá observar que los niveles de remoción son bastante elevados y se presentan valores bastante positivos para el tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 2.3. Eficiencias promedio obtenidas por experiencias chilenas

Parámetro	Eficiencia (%)
Coliformes termoresistentes	99
DBO ₅	95
Sólidos Totales	95
Sólidos suspendidos volátiles	93
Nitrógeno total	60 - 80
Aceite y grasas	80
Fósforo total	60 - 70

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de bibliografía chilena

De acuerdo a diferentes datos obtenidos de los enlaces de Internet provenientes de Chile, es posible realizar la tabla 2.3. que muestra un resumen de las eficiencias alcanzadas por el Lombrifiltro. Como se puede ver estos valores presentan importantes niveles de remoción de los parámetros contaminantes.

Aunque los parámetros mostrados no son los únicos que permiten desarrollar consideraciones a cerca de la eficiencia global del sistema de tratamiento, se consideran los más representativos en aguas residuales domésticas, y son básicamente los que se estudian en el presente proyecto.

Más adelante, será posible realizar una comparación de los datos que la bibliografía menciona, con los datos obtenidos en el proceso de estudio, para comprobar si las condiciones a las que se encuentra sujeta la planta realizada en el presente trabajo, fueron las óptimas y en qué elementos habría que hacer un mayor énfasis.

2.6 Comparación de alternativas de tratamiento

En la tabla 2.14., se presenta en forma sintetizada las características más importantes de los sistemas de tratamiento en estudio.

Tabla 2.4. Comparación de tecnologías de tratamientos de aguas servidas

Características	Lombrifiltro	Lodos activados	UASB + laguna de maduración	Coagulación – floculación
Eficacia tratamiento	Alta	Media a alta	Media a alta	Media
Remoción DBO₅	95%	80 – 95%	80 – 90%	50 – 75%
Remoción DQO	90%	80 – 95%	80 – 95%	40 – 50%
Remoción SST	95%	80 – 90%	85 – 95%	80 – 90%
Remoción A y G	80%	65 – 70%	65 – 75%	70 – 80%
Requerimientos de área	Área media a reducida	Área reducida a media	Gran área	Área reducida
Requerimientos de energía y equipos	Planta elevadora, cámara radiación	Planta elevadora, aireadores, manejo de lodos	Planta elevadora, sistema separador de gas.	Planta elevadora + equipo de floculantes + manejo de lodos
Manejo y cantidad de lodos	Lodo se transforma en humus, fácil de manejar	Alta cantidad de lodos, manejo complicado.	Menor producción de lodos	Alta cantidad de lodos, manejo complicado.
Equipos de control	Sencillos, ya que el sistema funciona a nivel de terreno.	Complicados ya que inyecta aire u oxígeno a presión.	Relativamente sencillos.	Complicados, adición de productos químicos.
Costo de inversión en instalación de equipos.	Costos muy bajos. Se estima 15 – 60\$/m ³ . No se incluye precio del terreno	Alto costo. Rango de precios 100 – 150\$/m ³ . No se incluye precio del terreno	Construcción simple y de bajo costo, con muy limitados requerimientos de equipos electromecánicos.	Alto costo.
Costos de operación y mantenimiento	No utiliza elementos químicos. Su gasto energético es mínimo: costo operacional de los equipos de bombeo y cámara de radiación.	Para evitar olores se utiliza elementos químicos. Tiene un gasto energético importante por los equipos que inyectan oxígeno.	Proceso simple y económico en operación y mantenimiento.	Utiliza compuestos químicos. Alto costo de operación y mantenimiento.

Fuente: adaptado de A.V.F. Ingeniería Ambiental Ltda. (2005)

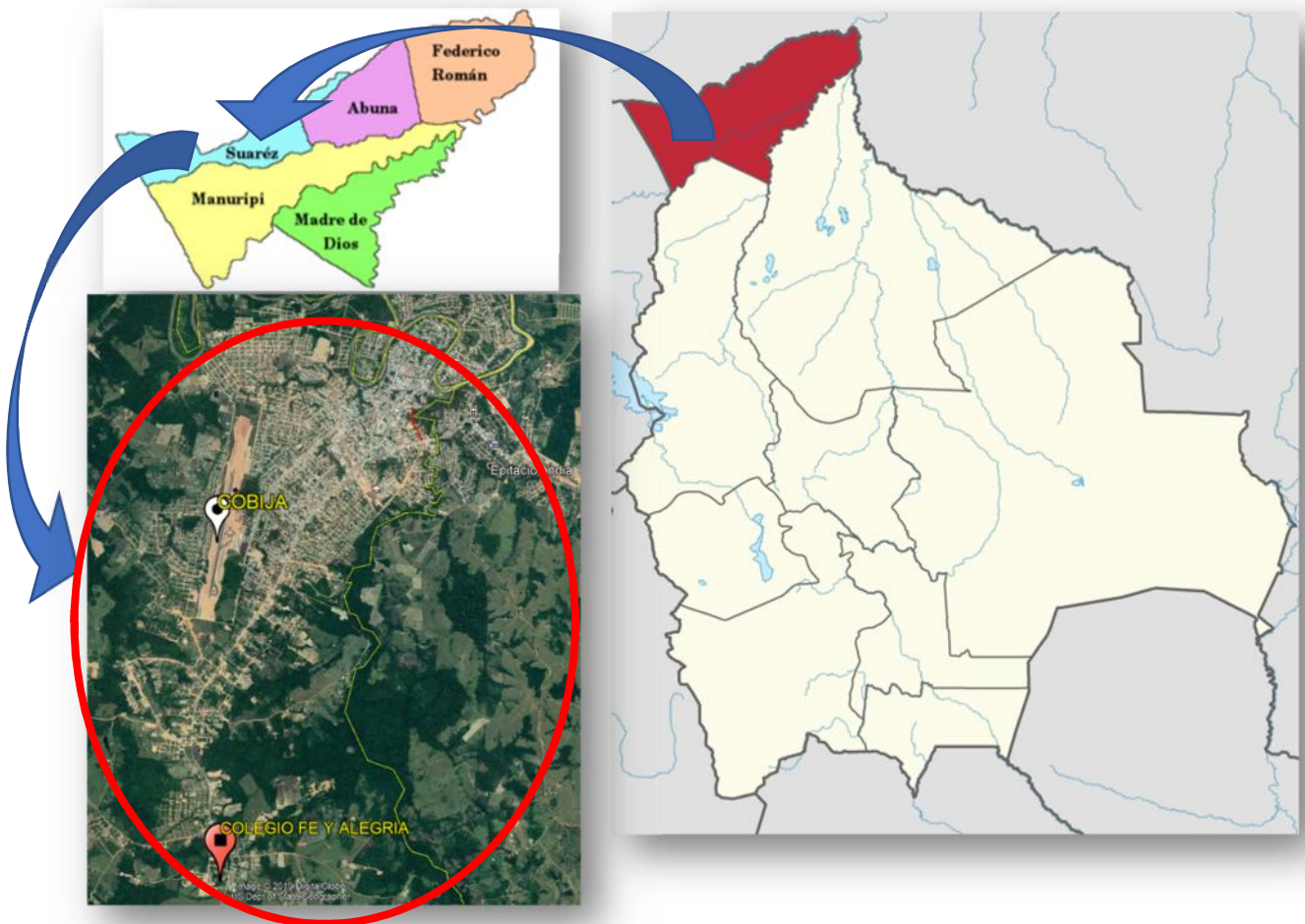
CAPITULO 3

3. MARCO PRÁCTICO – PLANTA PILOTO

3.1 Área del proyecto.

La planta piloto, así como el punto de recolección de aguas servidas, se encuentran en Bolivia, específicamente en el departamento de Pando situado en el extremo noroeste del país, limitando al norte con Brasil, al sur con Beni y La Paz, y al oeste con Perú. El departamento cuenta con una población de 110.436 habitantes según el censo oficial de 2012. A nivel nacional, Pando es el departamento menos poblado de Bolivia, tiene una densidad de 1,7 hab/km² (el menos densamente poblado).

Figura 3.1. Ubicación de la ciudad de Cobija - Pando



Fuente: Elaboración Propia

La ciudad de Cobija cuenta con una población de unos 42.200 habitantes, y está situada a orillas del río Acre, frontera con el estado brasileño de Acre, a una altitud de 228 msnm. Tiene un clima

tropical y lluvioso. Es la capital departamental menos poblada del país. En la Figura 3.1. se muestra un plano de ubicación de la ciudad de Cobija, dentro de la cual se encuentra el área de proyecto.

3.1.1 Planta Piloto

3.1.1.1 Ubicación

En la Figura 3.2. se muestra la ubicación del lugar exacto donde se construyó la unidad de tratamiento de la planta piloto del lombrifiltro para su posterior estudio.

Figura 3.2. Ubicación de la planta piloto del lombrifiltro



Fuente: Google Earth, 2017 - Elaboración Propia

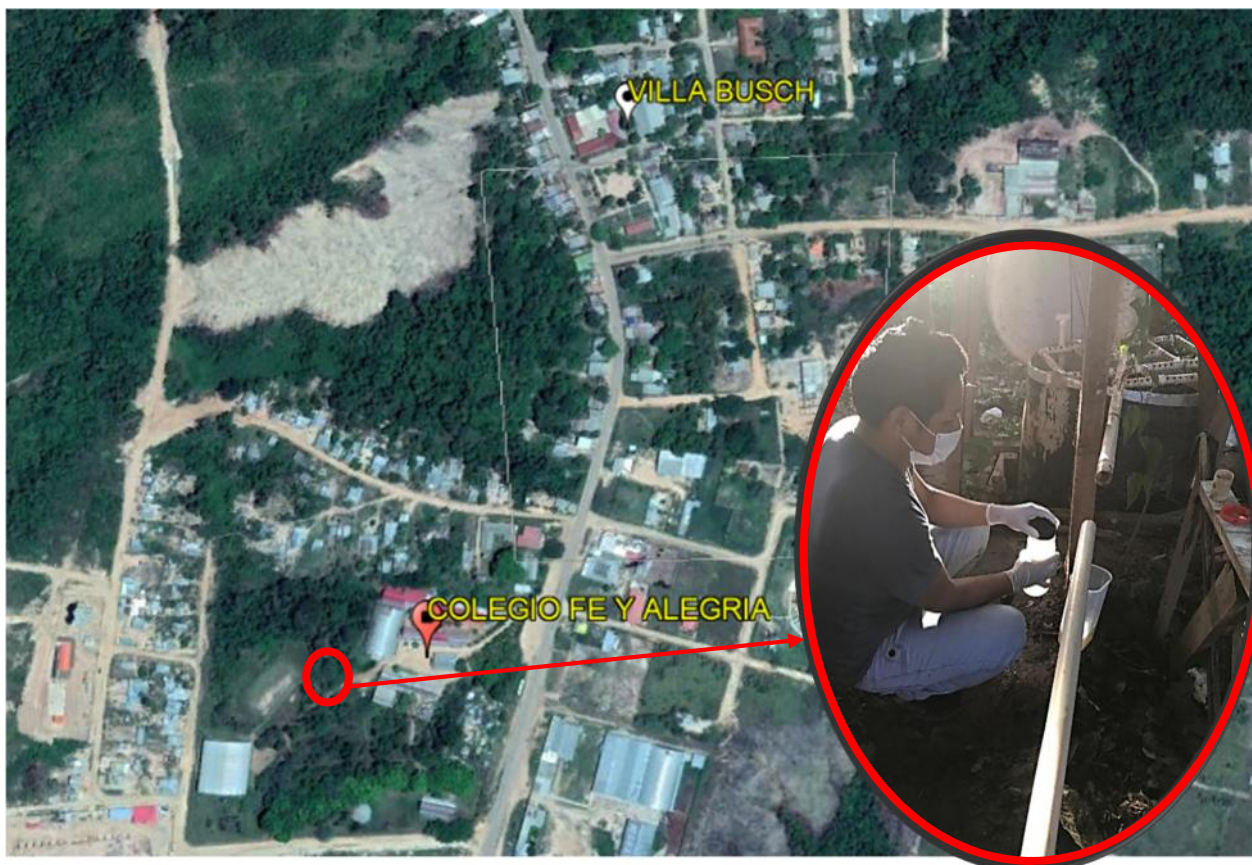
La planta piloto se encuentra construida y operada en el colegio Nuestra Señora Del Pilar Fe y Alegría en la comunidad de Villa Busch - Cobija.

3.1.2 Punto de muestreo

El sitio exacto donde se tomaron las muestras de aguas servidas para ser llevadas al laboratorio de la universidad Mayor de San Simón en la Facultad de Ciencias y Tecnología, “Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (CASA), se encuentra ubicado en la Unidad Educativa Nuestra Seora del

Pilar Fe y Alegría, ubicado en la comunidad de Villa Busch, de la provincia Nicolas Suarez carretera a Porvenir, ruta Nacional 13 de Bolivia a 10 km de la ciudad de Cobija del departamento de Pando. Como se muestra en las fotografías de la Figura 3.3.

Figura 3.3. Sitio de recolección de aguas servidas



Fuente: Google Earth, 2017 y elaboración propia

El agua residual doméstica proviene de los sanitarios que tiene el colegio Fe y Alegría, como se puede observar en la Figura 3.2.

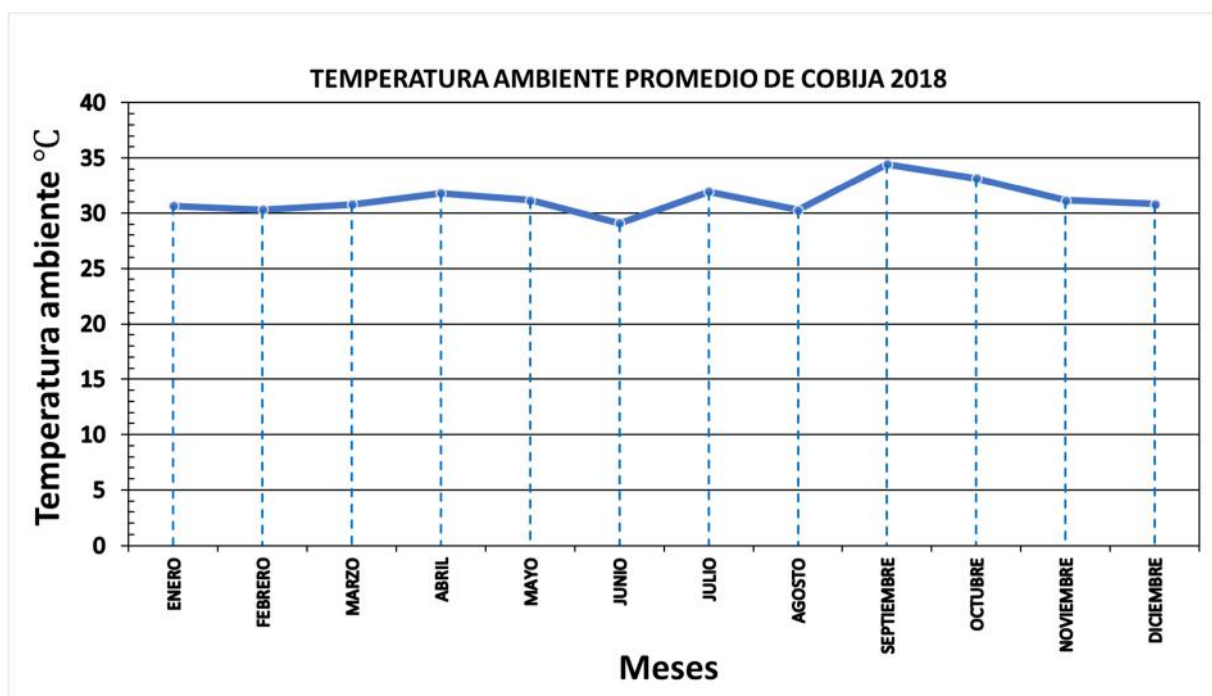
El punto de recolección de las muestras de aguas servidas se encuentra a una altura media de 256 msnm. 523760.00m Este y 8774225.00m Norte (*Google Earth, 2017*)

3.1.3 Descripción de la zona.

La ciudad de Cobija tiene un clima tropical y lluvioso, el terreno es cubierto gran parte por selva. Los suelos bajos se caracterizan por frecuentes inundaciones que afectan gran parte de las tierras varios meses del año. La temperatura media registrada según el SENHAMI, es de 31.30 °C. En

promedio el mes más cálido es en septiembre, con respecto al mes más frío en promedio es junio y enero es el mes más lluvioso en promedio de la ciudad de Cobija, como puede verse en el siguiente gráfico de la Figura 3.3 que registra las temperaturas concernientes a cada mes del año 2018:

Figura 3.4. Temperatura ambiente promedio en la ciudad de Cobija



Fuente: SENHAMI, 2018

En cuanto a las precipitaciones pluviales, se registraron valores comprendidos entre 1800 mm y 1830.7 mm, y una humedad variable entre 85% y 95% (*SENHAMI*).

3.1.4 Condiciones Ambientales del Sector

En el establecimiento educativo, no tienen acceso a un sistema de alcantarillado sanitario por su ubicación geográfica, sus desechos líquidos y sólidos son depositados en pozos ciegos o fosas sépticas, lo que ocasiona la contaminación de las aguas subterráneas, por la presencia de acuíferos artesanales, siendo que las napas freáticas están muy próximas a la superficie del suelo. Al tratarse de una descarga directa de los sanitarios hacia la fosa séptica donde se conecta a un campo de infiltración, los cuales, saturados de las aguas servidas, en efecto se perciben olores generados por

el proceso. En consecuencia, ésta es una forma de contaminación que genera un ambiente desagradable e incómodo para los estudiantes del colegio.

3.2 Caracterización las aguas del afluente y efluente en el lombrifiltro

3.2.1 Características Físicoquímicas

Para la caracterización de los afluentes y efluentes de las aguas servidas, se realizaron muestras puntuales y enviados a la Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología para ser analizados por el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (C.A.S.A) de acuerdo con las técnicas y normas establecidas por (American Wáter Works Association 20 edición).

Los parámetros de caracterización del afluente y efluente a tratar se dividen en parámetros microbiológicos (Coliformes termo-tolerantes), materia orgánica (DBO₅, DQO, ST, SD, SS, grasas y aceites) y parámetros secundarios (pH) y temperatura, que se describen a continuación:

- Parámetros primarios

-) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
-) Demanda Química de oxígeno (DQO)
-) Sólidos totales, disueltos, suspendidos, fijos y volátiles
-) Grasas y aceite

- Parámetros secundarios

-) El pH
-) La temperatura es determinado en campo (utilizando un termómetro de mercurio (100°C)).

Las muestras de agua servidas se tomaron manualmente en el afluente y efluente de lombrifiltro. Los parámetros físicoquímicos se determinaron empleando la metodología descrita en los métodos estándar para el análisis del agua y aguas residuales de la APHA-AWWA-WEF.

En la tabla 3.1., se presentan las características del afluente y efluente de la planta piloto y los valores establecidos según la normativa ambiental vigente en Bolivia Límites Permisibles para descargas líquidas Anexo B-I. Se observa que el parámetro DBO₅, presenta valores superiores a los establecidos como rango o límite superior permisible para la descarga de efluentes a redes cloacales y a cuerpos de agua. Es evidente que el efluente final de la planta debe someterse a un

tratamiento antes de descargarlas para disminuir los valores de dichos parámetros y evitar impactos ambientales negativos.

Tabla 3.1. Parámetros fisicoquímicos

Nro.	Parámetro	Unid.	Concentración Afluente	Concentración Efluente	Límites máximos permisibles Anexo A-2, Ley 1333
			12/03/2019 Hora: 17:40	12/03/2019 Hora: 18:00	
1	pH		8.57	7.58	6 - 9
2	Temperatura	°C	27	27	
3	Sólidos Totales	mg/l	1056	936	
4	Sólidos Disueltos	mg/l	908	930	
5	Sólidos Suspendidos	mg/l	148	6	60
6	Grasas y Aceites	mgO ₂ /l	43	<2	10
7	D.B.O ₅ .	mgO ₂ /l	145	105	80
8	D.Q.O.	mg/l	312	119	250

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Características microbiológicas

) El parámetro microbiológico analizado en el afluente y efluente final es la concentración de Coliformes termo-tolerantes

En la tabla 3.2. se presenta la concentración de los coliformes termotolerantes parámetro evaluado en los análisis microbiológicos.

Tabla 3.2. Parámetros microbiológicos

Parámetro	Unid.	Concentración UFC/100 ml		Límites máximos permisibles Anexo A-2, Ley 1333
		12/03/2019 17:40	12/03/2019 17:40	
		Coliformes Termo Tolerantes	UFC	2.1x10 ⁶

Fuente: Elaboración propia

Es evidente que el efluente final de la planta debe someterse a un tratamiento antes de descargarlas para disminuir los valores de Unidades Formadoras de Colonias y evitar impactos ambientales negativos.

3.3 Parámetros básicos de diseño y construcción del sistema de tratamiento.

3.3.1 Parámetros Hidráulicos

Como se trata de un sistema piloto, las medidas serán los menores posibles. Sin embargo, por las experiencias realizadas tanto en países como Francia y Chile, se recomendaba tener por lo menos un metro cuadrado en superficie (1 m²) de Lombrifiltro para obtener datos representativos en el estudio.

Tabla 3.3. La hidratación en niños y adolescentes

Rango de edad	Ingesta diaria total recomendada de agua
Bebés:	
0-6 meses	680 ml/día o 100-190 ml/kg/día. A partir de la leche materna
6-12 meses	0.8-1.0 l/día. A partir de la leche materna y alimentos y bebidas complementarias
1-2 años	1.1-1.2 l/día
Niños:	
2-3 años	1.3 l/día
4-8 años	1.6 l/día
Adolescentes:	
9-13 años - Niños	2.1 l/día
9-13 años - Niñas	1.9 l/día
14-18 años- Niños	2.5 l/día
14-18 años - Niñas	2.0 l/día

Fuente: Alimentación / Nutrición, Niños y adolescentes, Deporte., Serafín M. 2003

En la tabla 3.3. se muestra la frecuencia con la que cada persona va al baño. Hay quienes van muchas veces a miccionar al baño y otros que no. La frecuencia con la que la gente va es muy diferente de uno a otro. Hay personas que van por la mañana, algunas durante todo el día y otros con peor suerte que deben levantarse durante la noche para hacerlo.

3.3.1.1.1 Caudal de diseño

Por ser el lombrifiltro un sistema de tratamiento nuevo, no existe ecuaciones estandarizadas para su diseño, por lo que se usaran datos que ya cuenten con este sistema de tratamiento de aguas servidas. De la tabla 3.3. de los adolescentes se obtiene el valor promedio con la que cada persona va al baño a miccionar.

Volumen promedio de orina de estudiantes adolescentes:

$$V_p = \frac{(2.1 + 1.9 + 2.5 + 2.0)l/d}{4} = 2.125 l/d$$

En la Unidad Educativa Fe y Alegría, existe 2 turnos: turno de la mañana (500 estudiantes) y turno de la tarde (400 estudiantes), por lo cual se realizó aforo de los estudiantes de turno mañana, lo cual se detalla en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Frecuencia de estudiantes que va al baño a miccionar

Genero	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Varones	8:50-9:15	10	9	8	9	11	7
Mujeres		27	25	28	28	28	19
Varones	9:15-10:30	11	8	9	7	9	8
Mujeres		27	26	26	24	21	19
Varones	10:30-10:40	9	6	15	9	16	4
Mujeres		26	19	24	19	25	18
	TOTAL	110	93	109	96	110	75

Fuente: Elaboración propia

Un inodoro tradicional utiliza 5.0 litros por descarga + Volumen de orina de estudiantes del Colegio Fe y Alegría 2.125 litros y tomando el valor máximo total de estudiantes (114 estudiantes).

$$V_d = 110 e. \cdot (5.0 + 2.125)li = 783.75 li$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) es uno de los parámetros más importantes en todo el sistema de tratamiento de aguas residuales. (Calvache W., Chávez M. & Duran C. 2002).

Es el tiempo que le toma al agua fluir a través del material filtrante hasta llegar al fondo, el TRH depende de parámetros como la velocidad de flujo de los afluentes a través del material filtrante como también del volumen y la porosidad del mismo.

El tiempo de retención hidráulica se expresa como:

$$T_r = \frac{\rho * V_s}{Q_e} \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

- TRH = Tiempo de Retención Hidráulica (día)
- V_s = Volumen del material filtrante (m³)
- Q_e = Caudal de entrada (m³/día)
- ρ = Porosidad (%)

Para que las lombrices puedan degradar los patógenos y químicos tóxicos con mayor eficiencia deben ser sometidas a un TRH de al menos 2 horas. Esto permitirá una mayor interacción entre las lombrices con los desechos de las aguas residuales. (Sinha, R. et al 2008)

Según (Lourenco & Nunes, 2017) el TRH con la mejor eficiencia en remoción de contaminantes es de 6 horas y la porosidad en el lombrifiltro es de 73.7%.

La porosidad en los lombrifiltros dependen específicamente de los materiales que la componen.

Según (Sinha, et al. 2008) la porosidad en los lombrifiltros es de 60 %.

Tasa de carga hidráulica (HLR)

La tasa de carga hidráulica (HLR en sus siglas en inglés) es el volumen de agua residual que puede ser tratado en un área filtrante (Lombrifiltro) por cierto tiempo dado. La HLR depende de ciertos parámetros como la cantidad y tamaño de lombrices en el lombrifiltro como también del tipo de material filtrante con el que este se componga. (Sinha, et al. 2008)

$$H = \frac{V_A}{A * t} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Donde:

- HLR = Tasa de carga hidráulica ($m^3 m^{-2} día^{-1}$)
- t = Tiempo que tarda el agua en pasar por el material filtrante (día)
- A = Área del material filtrante (m^2)
- V_A = Volumen de agua residual (m^3)

Una alta tasa de HLR significa un menor TRH en el suelo filtrante y la reducción de la eficiencia en el tratamiento. El HLR varía de acuerdo al tipo de material o suelo. La tasa de filtración dependerá del tamaño y la distribución de los poros en el material. (Sinha, et al. 2008)

Velocidad de flujo en tuberías

La velocidad de circulación del agua a través de las conexiones (tuberías) normalmente se calcula con la fórmula de Hazen-Williams, la cual se expresa de la siguiente manera (Tello, 2016):

$$V = 0.355 * C * D_1^{0.6} * J^{0.5} \quad \text{(Ecuación 3.3)}$$

Donde:

- V = Velocidad de circulación del agua (m/s)
- D_i = Diámetro interior de la tubería (m)
- Q = Caudal requerido en la tubería (m^3 /s)
- J = Perdida de carga unitaria (m/m)

La velocidad de circulación mínima en las conexiones de los aspersores para evitar sedimentos es de 0.5 m/s (valor mínimo) y como valores máximos entre 2.0 y 2.5 m/s (Tello, 2016)

3.3.1.2 Capacidad hidráulica de lombrifiltro

Para definir una capacidad hidráulica de tratamiento, se tomó como referencia el estudio de (Lourenco & Nunes, 2017) el cual dice que la mayor eficiencia en remoción de contaminantes se encuentra con un HLR de $0.89 m^3 * m^{-2} * día^{-1}$ y un TRH de 6 horas con este valor se pudo calcular la capacidad de tratamiento del lombrifiltro, es decir, el volumen de agua servida a ser tratada:

$$V_m = H * A = 0.89 m^3 * m^{-2} * d^{-1} * 1 m^2 = 0.89 m^3/d$$

Una vez obtenido el volumen máximo de tratamiento se pudo proceder hallar el caudal necesario para abastecer dicho volumen, asumiendo que la producción de aguas servidas es constante dividimos la capacidad por la cantidad de segundos que tiene un día (86400 seg) y obtenemos:

$$C = \frac{890 \text{ l/d}}{86400 \text{ s}} = 0.62 \text{ l/m}$$

De esta forma se obtuvo el caudal para abastecer de manera constante la capacidad del lombrifiltro.

3.3.1.3 Tratamiento Preliminar “cámara de separador de sólidos”

La utilización de una reja, desarenador y medidor, como unidades básicas de esta fase del proceso, serían inobjectables en plantas de tratamiento a escala real. La reja utilizada según recomendaciones expuestas en el Marco Teórico, tenía una separación de 2 mm. de diámetro (electrosoldada).

Dimensiones

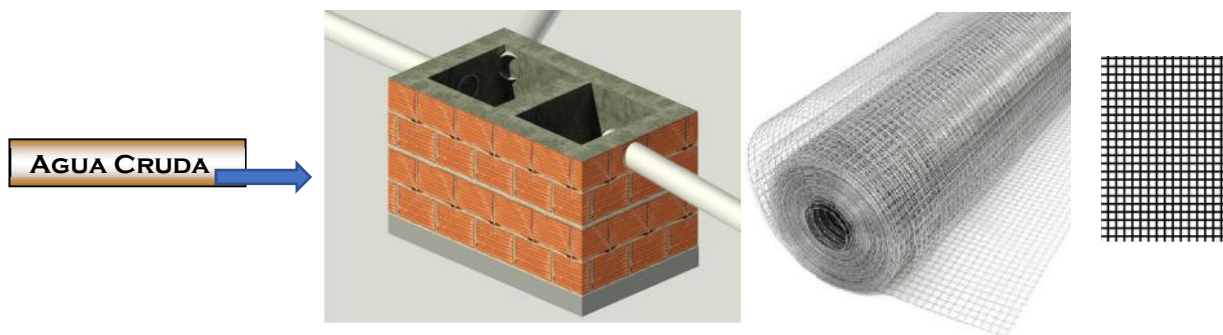
- Largo (L) = 1.1 m
- Ancho (a) = 0.8 m
- Altura (h) = 0.9 m

$$V_u = 1.1 \text{ m} * 0.8 \text{ m} * 0.9 \text{ m} = 0.792 \text{ m}^3 = 792 \text{ li}$$

Volumen de descarga 783.75 litros < Volumen útil 792 litros **OK**

En consecuencia, para el agua servida que llega a la planta piloto, se utilizó malla electrosoldada como se muestra en la Figura 3.5.

Figura 3.5. Malla electrosoldada (2 mm.)



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.5. se muestra el comienzo del esquema que representa el proceso de tratamiento de una cámara de separador de sólidos. Esta malla inicial, se colocó a modo de reja y se dispuso antes de la entrada a los tanques de almacenamiento, los que conducían las aguas servidas hacia el tanque principal componente del Lombrifiltro.

3.3.1.4 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento, se seleccionó de material plástico de alta resistencia y cuya capacidad de almacenamiento, se calculó de acuerdo a las tasas planificadas para la evaluación del lombrifiltro para 1m^2 , así como de acuerdo a la economía del proyecto.

De acuerdo a razones de logística, se fijan dos días de operación continua, previa a una recarga del tanque para que el sistema no deje de funcionar, debido que los días domingos no hay clases en la Unidad Educativa Fe y Alegría. Este cálculo se realizó de la siguiente manera:

Datos:

- Capacidad de tanque = 1000 litros
- Tasa media = $890 \text{ (l/(día}\cdot\text{m}^2))$

Entonces:

Tasa media = Volumen de agua requerido por unidad de superficie
(considerando 2 días de operación continua)

$$V_{req} = 890 \text{ (l/(día}\cdot\text{m}^2)) * 2 \text{ días}$$

$$V_{req} = 1780 \text{ (l/m}^2)$$

Considerando el volumen del tanque que se aplicaron en la alimentación de la planta piloto, se realizó el siguiente análisis:

$$V_{req} = x * A$$

$$1780 \text{ l} = x * 1000 \text{ litros}$$

En consideración a que el filtro fue diseñado para 1 metro cuadrado, se optó por disponer 2 tanques, entonces:

$$1780 \text{ l/m}^2 * 1\text{m}^2 = 2 * 1000 \text{ litros}$$

$$1780 \text{ litros} = 2000 \text{ litros}$$



Los tanques de almacenamiento se dispusieron en la parte alta, con la finalidad de que el proceso se lleve a cabo por gravedad y protegerlo de las precipitaciones pluviales.

Cada uno de ellos, se interconectó con el otro mediante una tubería de 1 ½” (para evitar taponamientos entre ellos). Se calculó que esta tubería sería suficiente para un paso rápido y óptimo del agua entre los tanques al realizar el llenado de los mismos.

El detalle de esta construcción se encuentra en los planos respectivos del Anexo A.

Con esta fase, el tratamiento sigue, como se muestra en la Figura 3.10., de la siguiente manera:

Figura 3.6. Tanques de almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, la malla hace las veces de “reja” suficiente para evitar el ingreso de partículas indeseables (mayores a 2 mm) al tanque de almacenamiento, y los tanques como almacenamientos de agua residual, útil en esta planta piloto para llevar a cabo los muestreos necesarios y para optimizar el estudio.

3.3.1.5 Tratamiento Secundario – Lombrifiltro

Forma del Tanque

Pese a que muchos sistemas chilenos aplican una forma rectangular a los depósitos principales que contienen el filtro, se vio por conveniente adoptar una forma cilíndrica, partiendo de la base de filtros percoladores y mejorando así la distribución sobre los lechos ya sea por aspersión o por

gravidad. Esta hipótesis fue demostrada además por la experiencia francesa que utiliza esta forma mejorando en gran medida el sistema de distribución realizado en Montpellier con la ayuda de brazos giratorios a manera de filtros percoladores convencionales.

Utilizando este principio, se procedió a diseñar un tanque cuya área superficial corresponda a 1 m². Para esta superficie, la bibliografía recomienda un caudal aproximado de 890 l/día, aspecto a comprobarse en el presente estudio.

Para lograr esta área y considerando los tanques disponibles en el mercado local, se tomaron en cuenta muchas posibilidades que además tengan la altura conveniente. Se optó por un tanque de 900 litros marca “*Campeón*”, el cual tenía las siguientes dimensiones:

- Altura = 1,25 m = h
- Diámetro = 1,05 m = d

Entonces:

Área Superficial

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 1.05^2}{4} = 1.0029 \text{ m}^2$$

Área Superficial = 1,0029 m ² 1 m ²

Se debe garantizar además el doble fondo que permita la circulación de aire a través de la base hacia arriba y viceversa (ver Figura 2.10).

Disposición de los estratos

-) Primera malla de separación entre el fondo y la capa de piedras. Se dispuso de una malla de acero con una separación de 5 mm, su función principal es la de proporcionar un falso fondo y además evitar que las piedras se salgan por el fondo del tanque.
-) La primera capa alcanza los 25 cm de altura y se conforma por piedras de 15 cm a 20 cm dispuestas sobre la malla mencionada.
-) Posteriormente una segunda capa de grava de 3/4” a 1”, con una altura de 30 cm sobre el lecho de piedra ya mencionado.

-) Sobre estas dos capas que conforman la parte pétreo del sistema, se colocó una vez más una malla de 5 mm de separación, que impida la mezcla de la Capa Activa cuando sea dispuesta sobre estos estratos ya colocados. Las características de la malla son iguales a la primera depositada y su única función es impedir la mezcla de estratos.
-) Sobre la malla se colocó el aserrín, en el caso del presente trabajo se utilizó un aserrín no seleccionado con la especificidad de especificaciones técnicas francesas, ya que se quiere comprobar la incidencia de este factor sobre la calidad del efluente. La altura de este estrato alcanzaba los 0.60 m.
-) Para que el sistema tenga una aireación correcta, se disponen además tuberías de ventilación perforadas en la parte inferior, pero solamente en la parte que corresponde a la capa pétreo ver figura 2.10, de esta manera se evita también que las lombrices penetren por los agujeros provocando pérdidas o en su defecto que el aserrín tapone los orificios.
-) Por último, se colocó el estrato más importante, conformado por las lombrices (*eisenia foetida*). Para ello primero tuvieron un período de aclimatación de cerca de dos semanas. Es necesario equilibrar factores como: temperatura, pH, humedad óptima y lugar adecuado.

Entonces, si se consideran todos estos estratos, se tiene:

$$h_1+h_2+h_3 < \text{altura total del tanque (LOMBRIFILTRO)}$$

$$0,30 + 0,30 + 0,60 < 1,25$$

$$1,20 < 1,25$$



La elección de las alturas fue llevada a cabo tan solo de acuerdo a experiencias previas, se recomienda que, en estudios posteriores, este parámetro sea optimizado para lograr mejores resultados.

3.3.1.6 Sistema de distribución

El sistema de distribución de las aguas servidas sobre la unidad de tratamiento, fue elegido de la siguiente manera:

-) No se disponía de demasiada presión en el agua servida, ya que el sistema funcionó por gravedad.

J) El caudal requerido era bajo, en consecuencia, la cantidad de agua que caía sobre el filtro era pequeña y era necesario obtener gotas de tamaño pequeño para no desgastar el lecho de aserrín.

Por estas razones, se desarrolló un sistema que reparta el agua sobre el filtro mediante un sistema de distribución por goteo a una altura de 40 cm. aproximadamente sobre el estrato superior del lombrifiltro (ver planos en anexo B-I). Esta altura fue elegida bajo recomendación de *P. Soto* (2006), para aprovechar la aireación en las pequeñas gotas que caen sobre el filtro.

En tubos se practicaron orificios de diámetro ascendente desde 1.5, 2, 3, 6 y 10 mm a partir de la parte inferior hacia la parte superior.

Sistema de circulación de aire

Para garantizar que el proceso sea enteramente aerobio, se planificó la colocación de dos tuberías de ventilación, en lados opuestos del tanque principal, y cuya base inferior posee perforaciones de 2 cm de diámetro.

Asimismo, se garantizaría el “efecto chimenea” mencionado en el Capítulo 2, mediante un doble fondo que garantice la circulación de aire y los procesos ampliamente detallados.

En la Figura 3.7., se muestra el tren de unidades que se utilizaron para el tratamiento de las aguas servidas. La unidad más importante es el Lombrifiltro y mediante esta unidad se logra obtener el agua tratada.



Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Construcción de una planta piloto “lombrifiltro”.

El proceso de construcción del lombrifiltro se llevó a cabo con materiales existentes en el mercado local, y reuniendo los requisitos necesarios para su uso en Aguas Servidas.

Para ello primero se realizó replanteo y control lineal.

3.3.2.1 Replanteo y control lineal

Se realizo trabajos topográficos requeridos por el proyecto para una buena materialización de los planos constructivos en el terreno, tales como:

-) Replanteo y nivelación de los colectores, interceptores y emisario, así como de toda obra especial como ser: cámaras de inspección y pozos ciegos.
-) Verificación de elevaciones, alineación y ubicaciones correctas.

Las fotografías de la Figura 3.8., muestra replanteo y control lineal.

Figura 3.8. Replanteo y control lineal



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Excavación manual

Este ítem se refiere a los movimientos de tierra mediante el proceso de excavar y retirar volúmenes de tierra u otros materiales para la conformación de espacios donde serán alojados tubos sanitarios de 4” según planos de proyecto. Se contrato el personal para realizar la excavación de 57 ml para el tendido de tubería, como también para el tanque de almacenamiento y para el lombrifiltro.

Las fotografías de la Figura 3.9., muestra las excavaciones manuales.

Figura 3.9. Excavación manual



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Provisión y tendido de tubería PVC

Se realizó el tendido de tuberías de PVC de 4", juntas y accesorios, al conjunto de operaciones tales como: adquirir todo el material, entregar en las cantidades solicitadas y oportunamente, transportar todo el material en frentes de trabajo, acarrear, descargar, almacenar los materiales, decepcionar los lotes de tubería y accesorios (juntas, codos, tees, etc.), colocar la tubería en obra, tendido de la tubería y accesorios si corresponde, limpiar, alinear, nivelar, todas las tuberías, juntas y accesorios. Las fotografías de la Figura 3.10., muestra provisión y tendido de tubería PVC 4".

Figura 3.10. Provisión y tendido de tubería PVC de 4"



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.4 Cámara de separador de solidos

El separador de sólidos es la mejor opción ecológica para el tratamiento de aguas servidas, realiza la recuperación de sólidos homogéneos y la separación a través de Malla electrosoldada (2 mm.), además no tiene problemas de atascamiento. El separador de sólidos posee un flujo continuo, tiene un mínimo mantenimiento, no requiere supervisión alguna durante su ciclo de trabajo. El separador de sólidos tiene una versatilidad en su instalación y una disponibilidad de refacciones. Las fotografías de la Figura 3.11., muestra la cámara de separador de sólidos.

Figura 3.11. Cámara de separador de solidos



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.5 Tanque de almacenamiento

Según los cálculos señalados en la parte de diseño del presente acápite, se colocaron 2 tanques de 1000 litros para tener capacidad de almacenamiento para 2 días y realizar el proceso de almacenar previo a la entrada del agua al lombrifiltro.

Figura 3.12. Instalación de Tanques de almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

Como se ve en las fotografías de la Figura 3.12 los tanques se interconectaron entre sí mediante tuberías en la parte inferior de 1 1/2” de diámetro. Se colocaron los accesorios necesarios para el funcionamiento en materiales y dimensiones adecuadas para un óptimo desempeño hidráulico:

-) llaves de pasos que permitía controlar el caudal, para de esta manera utilizar un tanque (suficiente para un día de funcionamiento) y utilizar los dos grupos en casos excepcionales (fines de semana por ejemplo sin necesidad de que sufra interrupciones).
-) codos de 1 1/2” para conectar a la tubería principal.

3.3.2.6 Lombrifiltro

Como se trata de la unidad principal, se tomaron en cuenta los factores más importantes y con detalle para su colocación. Para comenzar es importante que la unidad sirva como depósito para los estratos (de forma cilíndrica), tenga 1 m² de área superficial y con una altura conveniente para que queden dispuestos todos los estratos componentes del Lombrifiltro. De acuerdo a las características de diseño el tanque adquirido se adecuó a las necesidades y estaba disponible en el mercado de la ciudad de Cobija.

El tratamiento de aguas servidas es realizado a través del rociado del afluente en la superficie del lombrifiltro (tecnología no convencional de tipo biológico), como se muestra en las fotografías de la figura 3.13.

Figura 3.13. Rociado del afluente en la superficie del lombrifiltro



Fuente: Elaboración propia

El agua tratada escurre por un tubo de 1 1/2" de forma troncocónica de la base que brinda las siguientes ventajas:

-) Desde la primera malla colocada en el tanque hasta la parte inferior, existe un vacío, el que posibilitaría un doble fondo que permita la circulación de aire y por consecuencia el efecto chimenea a través del lombrifiltro (ver planos en ANEXO A).
-) La forma facilitó el escurrimiento con una pendiente mínima, posibilitando la recolección del agua tratada por el tubo.
-) Posibilitó el mantenimiento por este sector del sistema de drenaje ya que existe una malla de 5 mm. de separación que impide la pérdida del lecho de soporte en caso de que éste sea abierto por la parte inferior, en el sector del fondo falso (ver fotografía de la Figura 3.14).

Para el tanque principal, se hizo un soporte a una altura adecuada, que permita una manipulación de la parte inferior, la recolección del agua tratada por medio de tubo y un espacio prudente para su operación. Los agregados (grava y piedra) también estaban listos para su disposición en el filtro, con las dimensiones recomendadas (3/4" – 1" para la grava y 15 cm de diámetro en promedio para las piedras de los estratos inferiores).

Disposición de los estratos.

La unidad principal del lombrifiltro, comprende básicamente un depósito dentro del cual se colocan los estratos que formarán parte del tratamiento de aguas servidas. En orden ascendente se dispone de la manera señalada como se muestra en la Figura 2.6.

- Capa de Piedra

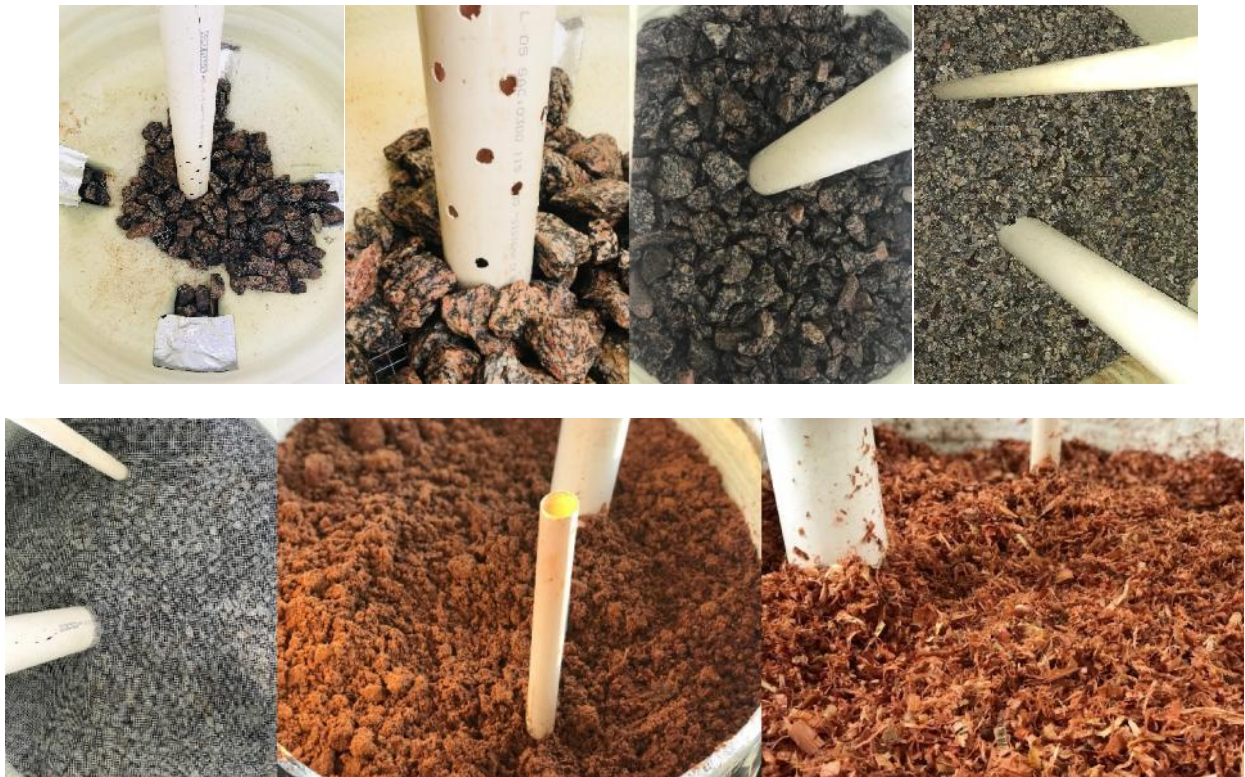
-) Se colocó la primera malla de acero electrosoldado de separación entre la sección cilíndrica y la troncocónica e inmediatamente superior a ésta la capa de piedras.
-) La segunda capa, con la altura de diseño de 30 cm, se compuso de piedra manzana con diámetros entre 10 cm y 15 cm.

- Capa de Grava

-) Sobre la piedra, de acuerdo al diseño, se colocó grava de 3/4" a 1", con una altura de 30 cm. Esta piedra pasó a llenar ciertos vacíos generados en el primer estrato.

- J Ya se contaba entonces con la capa pétreo, por lo cual la segunda malla de separación (división Capa Pétreo – Capa Activa) también fue de acero electrosoldado con separación de 5 mm. para el detalle remitirse a la Figura 3.14.
- **Capa Activa**
- J Luego se conforma la capa activa, cuyo componente principal, el aserrín, fue dispuesto en una capa de 0,60 m. de acuerdo al diseño. No se seleccionó la calidad de este sustrato con el detalle necesario, según consideraciones propias del diseño.
- J Las tuberías de ventilación perforadas (en diámetro de 2,5 a 3 cm.), se colocaron desde la parte inferior (ver Figura 3.14), pero solamente con dichas perforaciones en la parte que corresponde a la capa pétreo, evitando de esta manera que las lombrices salgan expulsadas por estos ductos de ventilación. Este sistema proporcionó el efecto chimenea y la recirculación de aire por el interior de la unidad de tratamiento.

Figura 3.14. Proceso de la composición de los estratos del lombrifiltro



Fuente: Elaboración propia

- J Como se muestra en las fotografías de la Figura 3.15., se colocaron las lombrices al sistema en su estrato previo compuesto por humus, y se esperó a que las mismas por locomoción

natural, se introduzcan al sustrato de aserrín y comiencen su período de aclimatación en el medio preparado para tal efecto.

Este proceso se llevó a cabo luego de la aclimatación en un refrigerador inutilizable, Se instaló las lombrices en fechas 10/11/18 en el lombrifiltro, luego culminaron las clases en fecha 30/11/18 por motivo de vacaciones de los estudiantes, lo cual tuvo que estar 2 meses sin funcionar la planta piloto hasta que iniciara las clases en 04/02/19 y a inicio del mes de febrero se puso en marcha la planta de tratamiento de aguas servidas. (ver proceso de puesta en marcha a continuación del presente acápite)

Figura 3.15. Siembra de lombrices en el sistema



Fuente: Elaboración propia

La aclimatación se demostró cuando las lombrices por sí solas se enterraban en el sustrato preparado y cuando comenzaron a depositar sus cocones, con la consecuente generación de larvas de tamaño tan minúsculo que son inapreciables al lente de la cámara fotográfica, pero que sin embargo eran de un número muy elevado (depositadas generalmente en lugares protegidos, como

las cortezas o pedazos de aserrín más grandes. En las fotografías de la figura 3.16, se muestra la planta piloto terminada, con todos los detalles que se describieron en el presente capítulo.

Figura 3.16. Planta piloto de lombrifiltro terminada



Fuente: Elaboración propia

3.4 Puesta en marcha.

La puesta en marcha del sistema, consistió en lograr un equilibrio entre los componentes del mismo para que pueda funcionar de manera adecuada y sin interrupciones. Para ello se llevó a cabo la circulación del agua residual subsanando sus deficiencias y optimizando el proceso.

Para el período de puesta en marcha del sistema, se consideró primeramente un tiempo de dos semanas, según recomendaciones del marco teórico. Este tiempo debía ser adecuado tanto para que

las lombrices logren aclimatarse al nuevo medio, a las nuevas condiciones de humedad y temperatura, y fundamentalmente al nuevo alimento compuesto por la materia orgánica presente en las aguas servidas, para que de esta manera la unidad brinde valores equilibrados y se pueda comenzar el estudio.

En este período de puesta en marcha del sistema, se registraron los posibles aspectos que variarían los resultados del laboratorio (temperatura ambiente) en la medida en que las lombrices se aclimataban al nuevo medio. Para comprobar que esto sucedía, los aspectos clave se indican en los datos siguientes de lumbricultura:

-) Las lombrices primero debían enterrarse cómodamente en el medio durante el día, y en la noche salir a la superficie sin intentar escapar del reservorio que las contenga.
-) Una vez que las lombrices se encuentren aclimatadas, se pueden apreciar las primeras larvas de color blanco.
-) El color de las lombrices adultas deberá ser brillante. En caso de que sea oscuro y opaco la humedad es muy baja. Por otro lado, en caso de que su cuerpo sea demasiado blando existe mucha humedad en el medio o un estancamiento de las aguas en el interior del filtro, adquiriendo también un color más oscuro.
-) Las lombrices reaccionan de acuerdo al medio circundante. En este sentido si las mismas no se mueven demasiado incluso cuando se las saca de su medio, demuestran que no es un buen medio para su reproducción, y si por el contrario su locomoción es regular, el medio es cómodo para su supervivencia y ya se aclimataron al sustrato.

De acuerdo a estos parámetros, luego de las dos semanas de aclimatación se notó que las lombrices ya mostraban signos de haberse habituado al medio.

Luego de este proceso de puesta en marcha, se realizó un estudio de las características del afluente y efluente, así como de la evolución del proceso de tratamiento desarrollado en el interior del lombrifiltro.

Los datos tomados, corresponden a muestras obtenidas en fecha 12/03/19 a horas 17:40 en el colegio Fe y Alegría de la comunidad de Villa Busch y son enviados al día siguiente a la ciudad de Cochabamba al Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón para ser analizadas.

3.5 Funcionamiento y operación de la Planta

Durante todo el día, el funcionamiento era constante y el agua servida se distribuía sobre el lombrifiltro mediante el sistema de goteo. La operación de la planta no requería procesos complejos, limitándose al reabastecimiento de aserrín cuando el nivel de compactación y su consumo por parte de las lombrices así lo indiquen, ya que las lombrices consumen parte del mismo y por otro lado su grado de compactación aumenta significativamente en la medida en que la madera absorbe el agua que cae sobre la capa activa.

Para el funcionamiento se debía garantizar que todos los días el sistema cuente con el agua residual de la fuente y que las tuberías no se encuentren tapadas. Por otro lado, garantizar que el ingreso de partículas sea controlado por el tamiz de 2 mm. de separación al realizar el llenado de los tanques de almacenamiento.

Dentro del proceso de operación, para el control del caudal que ingresa al tanque, se utilizó el método volumétrico, utilizando una jarra graduada y un cronómetro, calculando el siguiente tiempo de llenado para 1 minuto de funcionamiento:

$$C = 890 \text{ l/d} = \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ hrs}} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ m}} = 0.62 \text{ l/m}$$

Una vez que se establecieron los caudales deseados de manera diaria, el sistema funcionó continuamente a lo largo del día de operación.

3.6 Plan de muestreo del afluente y efluente

El proceso de elaboración de un plan de muestreo, el cual se resume a continuación.

3.6.1 Puntos de muestreo

Las muestras de agua servidas se tomaron manualmente a la entrada del lombrifiltro (agua cruda) y a la salida del mismo (agua tratada), se tomó 1 muestra puntual de agua cruda y 4 muestra puntuales de agua tratada, para el estudio del lombrifiltro se denominarán como punto A de entrada y B de salida.

Otro aspecto importante es la variación de tasas; para optimizar el caudal de aporte al Lombrifiltro, se tomó en cuenta según bibliografía, el dato referencial de 890 l/d (Lourenco & Nunes, 2017).

- Garantizando además que no existan cambios bruscos que alteren los resultados, utilizando para ello un período prudente mínimo de 2 semanas entre tasa y tasa, para permitir que el sistema se estabilice con las nuevas condiciones.

3.6.2 Parámetros de estudio

Existen muchas maneras de cuantificar la contaminación en el agua, considerando que las aguas residuales de tipo doméstico no tienen elevados índices de materia inorgánica, contaminación química o factores de alta complejidad, se tomaron para el control del proceso los siguientes parámetros:

-) *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)*
-) *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*
-) *Sólidos totales*
-) *Sólidos suspendidos*
-) *Sólidos disueltos*
-) *pH*
-) *Temperatura del agua*
-) *Grasas y Aceites*
-) *Color*

3.6.3 Tipo y frecuencia de muestreo

De acuerdo al análisis de agua cruda, es notable que la variación de niveles de contaminación no es elevada. Se asume que esto se debe a que el agua que se encuentra en los tanques no sufre variaciones considerables a lo largo del día, como ocurriría en un sistema real, por lo cual es posible elegir muestras puntuales.

Las muestras puntuales se realizaron aproximadamente cada 2 semanas.

- 12/04/2019 Primer muestreo puntual de agua cruda y agua tratada
- 02/05/2019 Segundo muestreo puntual de agua tratada
- 16/05/2019 Tercer muestreo puntual de agua tratada
- 07/06/2019 Cuarto muestreo puntual de agua tratada

3.6.4 Tiempo de estudio

El tiempo de estudio fue planificado para un período aproximado de 4 mes, considerando el tiempo de puesta en marcha y sin considerar el tiempo sin funcionamiento (vacaciones). Durante este lapso, se presentaron algunos inconvenientes de tipo social y técnico que obligaron a aumentar en cierta medida el plazo previsto, sin embargo, se logró obtener la totalidad de los resultados deseados.

3.7 Presupuesto del proyecto

Al determinar las actividades y procesos constructivos se debe convenir que el costo de la obra de la planta piloto de tratamientos de aguas servidas fue de Bs. 12.894,26. Este costo es el presupuesto oficial que involucra la estructura del lombrifiltro que se detalla a continuación:

- J Construcción de cámara de inspección e interconexión de la red antigua a nueva red del lombrifiltro.
- J redes de distribución: Tubería de PVC de 4" de diámetro, que conecta de los 2 sanitarios que tiene la unidad educativa Nuestra Señora del Pilar Fe y Alegría, hacia la cámara de separador de sólidos y tanque de almacenamiento. Luego se utilizó tubería de PVC 1 1/2" de diámetro para la conexión del talque de almacenamiento al lombrifiltro y para el sistema de rociado por goteo en la superficie de lombrifiltro (capa activa), también se utilizó accesorio de PVC de 4" y 1 1/2" como ser: tee, codo de 45° y 90°, tapón, llave de pasos y otros.
- J Excavación de la red de distribución, cámara de inspección y separador de sólidos, tanque de almacenamiento y lombrifiltro.
- J Mano de obra que se requiere para efectuar las construcciones e instalaciones de las redes de distribución, cámaras, tanque de almacenamiento y lombrifiltro. Materiales usados como ser: madera de construcción, calamina, clavos, malla para el cerco del lombrifiltro y otros. Este presupuesto contiene la cubicación del Lombrifiltro en base a planos del diseño adjuntos y en base a datos adquiridos de la planta piloto que están en funcionamiento adaptando su estructura a las necesidades del proyecto.

La lista de precios unitarios para efectuar el presupuesto es consultada en ferreterías y empresas de materiales en la ciudad de Cobija del departamento de Pando. Se utilizaron valores del mercado

actual, cotizando los diversos materiales a proveedores, analizando los precios, y los rendimientos de mano de obra son consultadas.

En base a estos datos se realizó el siguiente presupuesto inicial mostrados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Presupuesto de construcción de un lombrifiltro

PRESUPUESTO DE UN LOMBRIFILTRO					
Item	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (Bs)
1	MOVIMIENTO DE TIERRA		1.00		1154.76
1.1	EXCAVACION MANUAL DE ZANJA	m3	19.00	51.35	975.65
1.2	EXCAVACION MANUAL DE CAMARA DE SEDIMENTACION	m3	1.20	51.35	61.62
1.3	EXCAVACION MANUAL DE LOMBRIFILTRO	m3	2.00	51.35	102.70
1.4	EXCAVACION DE CAMARA DE INSPECCION	m3	0.29	51.35	14.79
2	MATERIALES		1.00		7397.50
2.1	TUBO PVC 4"	und	15.00	80.00	1200.00
2.2	TUBO PVC 1 1/2"	und	5.00	45.00	225.00
2.3	TANQUE DE AGUA DE 1000 LITROS	und	1.00	550.00	550.00
2.4	TANQUE DE AGUA DE 1200 LITROS	und	1.00	1400.00	1400.00
2.5	BRITA 1	m3	0.30	550.00	165.00
2.6	GRAVA 3	m3	0.30	600.00	180.00
2.7	MALLA PARA CERCO	und	3.00	225.00	675.00
2.8	SUSTRATO DE ASERRIN	m3	0.65	30.00	19.50
2.9	LOMBRICES	kg	3.00	125.00	375.00
2.1	REJA (MALLA DE SEPARACION DE ESTRATOS)	und	3.00	30.00	90.00
2.11	MADERA DE CONSTRUCCION 4X4"-3M	pza	8.00	80.00	640.00
3.12	MADERA DE CONSTRUCCION 2"X4"-3M	pza	6.00	40.00	240.00
2.13	MADERA DE CONSTRUCCION 2"X8"X3M	pza	8.00	80.00	640.00
2.14	MADERA PARA CERCO (RIPA)	docena	4.00	40.00	160.00
2.15	SUSTRATO DE VIRUTA	und	1.00	30.00	30.00
2.16	SUSTRATO DE ASERRIN	und	6.00	30.00	180.00
2.17	CEMENTO	und	3.00	65.00	195.00
2.18	ALAMBRE DE AMARRE	und	1.00	13.00	13.00
2.19.	LADRILLO DE 6 HUECO	und	100.00	1.20	120.00
2.2	ARENA	m3	0.50	60.00	30.00
2.21	CALAMINA	und	6.00	45.00	270.00
3	ACCESORIOS		1.00		342.00
3.1	CODO PVC-45 4"	und	1.00	10.00	10.00
3.2	TEE PVC 4"	und	2.00	15.00	30.00
3.3	CODO PVC 1 1/2"	und	8.00	5.00	40.00
3.1	TAPON PVC 1 1/2"	und	4.00	5.00	20.00
3.5	LLAVE DE PASO 1 1/2"	und	2.00	65.00	130.00
3.6	TAPON PVC 4"	und	2.00	7.00	14.00
3.7	TEE PVC 1 1/2"	und	14.00	7.00	98.00
4	CONSTRUCCION		1.00		4000.00
4.1	CONSTRUCCION DEL LOMBRIFILTRO	glb	1.00	4000.00	4000.00
TOTAL					12894.26

Fuente: Elaboración propia

3.8 Operación y mantenimiento del lombrifiltro

Para alcanzar el éxito esperado en la planta de tratamiento de Lombrifiltro, es necesario establecer las políticas y la organización administrativa adecuadas, además de los recursos necesarios para asegurar el total éxito en todas las fases de la vida útil del sistema.

Por falta de organización y por falta de interés del sector los proyectos muchas veces fracasan, uno de los motivos de ese fracaso es la falta de comprensión de los beneficios que podrá obtener la comunidad. Otro factor importante es la falta de conocimiento que existe, tanto de los legos, y muchas veces, de los propios técnicos.

3.8.1 Objetivos del manual de operación y mantenimiento.

-) Uniformización de los procedimientos de operación
-) Establecer criterios para determinar el número y tipo de personal administrativo, de operación y de mantenimiento requerido en la planta.
-) Efectuar una descripción de los procedimientos de operación de la planta en condiciones de: Puesta en operación inicial, operación de rutina y operación en condiciones de limpieza.

3.8.1.1 Seguridad

-) Debe lavarse las manos antes de beber o comer.
-) Uniforme de trabajo, guantes, barbijos y botas
-) Las herramientas, como pala, rastrillos, para el retiro de humus, lombrices y cambio de material del Lombrifiltro deben lavarse con agua potable antes de guardarse.
-) Cortadas, rasguños deben lavarse y desinfectarse inmediatamente.
-) El operador debe prestar estricta atención a su higiene personal. Por ejemplo, debe mantener sus uñas limpias y cortas, porque las uñas sucias son un medio de transmisión de enfermedades.

3.8.1.2 Personal

La cantidad de personas necesarias para el control adecuado de la planta de Lombrifiltro se establece en función del área.

-) Encargado de la planta
-) Ayudante

3.8.1.3 Funciones del personal

El personal que opera el sistema de Lombrifiltro siempre de un encargado y uno o más ayudantes, en función de la magnitud.

-) Realizar los controles necesarios en la operación normal del Lombrifiltro.
-) Medir el caudal del afluente del Lombrifiltro, una vez al día 0.5 l/min a 0.9 l/min por un área de 1 m².
-) Limpieza de los sólidos acumulados en los tubos de PVC por el sistema de goteo (regadío) en el Lombrifiltro, una vez al día o de acuerdo a la prioridad que se defina durante la puesta en marcha de la planta de tratamiento.
-) Horqueto de la superficie del Lombrifiltro
-) Retiro de humus de las lombrices, limpiar las zanjas de protección contra las aguas de lluvia.

Los ayudantes son responsables por el mantenimiento de la cámara de sedimentos, limpieza de los sólidos acumulados en los tubos de PVC, y la regulación del caudal, además del cuidado del paisaje y la urbanización de toda el área de tratamiento.

3.8.2 Limpieza del sistema de tubos por goteo.

Los tubos pueden llegar a acumular una cantidad importante de partículas sólidas al cabo de un tiempo. Debemos desconectar un tubo y dejar correr el agua para que la suciedad salga de los tubos hacia la cama de lombrices (lombrices y aserrín con viruta) y si persiste los sólidos debemos quitarlos y lavarlos con agua o aire a presión.

Es esencial mantener limpio de acumulaciones de sólidos en los tubos para garantizar en todo momento una uniformidad de riego en la superficie, ya que, de lo contrario, generara malos olores.

3.8.3 Limpieza del tanque de almacenamiento

Es esencial mantenerlo limpio de acumulaciones de residuos, ya que, de lo contrario, las lecturas de caudal serán erróneas, Esta limpieza debe efectuarse una vez a la semana, y los sólidos recogidos deben llevarse al lombrifiltro para que las lombrices transformen los residuos en humus.

3.8.4 Limpieza de la cámara de separador de sólidos.

Para la correcta operación y funcione durante años sin mayores problemas es necesario realizar inspecciones de rutina, la inspección rutinaria de las cámaras de separación de solidos debe ser realizada una o dos veces al año para la revisión la acumulación de lodo, una vez retirado debe llevarse para la alimentación de las lombrices rojas californianas y lo transformen los residuos en humus.

Hay diversos métodos para alimentar a las lombrices: desde la utilización de tolvas, tanques y cajones de madera o plásticos, hasta fosas cavadas en campo abierto. En general, podemos decir que la lombriz roja californiana (*Eisenia Foétida*) puede criarse en cualquier lugar. Lo más común es el criadero al aire libre, haciendo cunas de 1 a 2 m de ancho por el largo que técnicamente sea el más adecuado y que facilite las labores.

3.8.5 Horqueteo de la superficie del Lombrifiltro

La labor principal de mantenimiento del tanque de lombrifiltro consiste en el horqueteo de la superficie, forma de evitar la aparición de aposamientos de agua, esta labor debe realizarse al menos una vez a la semana, de acuerdo a la periodicidad o según requerimiento que se defina durante la operación del sistema.

3.8.6 Cambio de material del Lombrifiltro (Aserrín y Viruta)

La lombriz roja californiana transforma la materia orgánica en humus e incrementa los nutrientes como: nitrógeno, fosforo y potasio para el beneficio de las plantas, además de aportar una gran variedad de microorganismo para el suelo contaminado luego de sustituir fertilizantes químicos y plaguicidas utilizados en una maceta, jardín, huertos y cultivos agrícolas. La recolección de humus de lombriz se debe realizar de 4 a 6 meses aproximadamente, sustituyendo por aserrín, viruta y devolviendo las lombrices al Lombrifiltro.

CAPITULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medición de Parámetros

En la tabla 4.1., se muestran los resultados del análisis de la concentración de los contaminantes en el afluente y efluente de la planta piloto. Los análisis de aguas fueron realizados en el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (C.A.S.A.) de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón. Los resultados se adjuntan en el anexo C.

Tabla 4.1. Resultado de laboratorio de las muestras en el afluente y efluente del lombrifiltro

Parámetro	Unid.	Punto de medicion		% remocion	Límites máximos permisibles
		Concentración Afluente	Concentración Efluente		Anexo A-2, Ley 1333
pH	1	8.57	7.58	11.55	6.9
	2		7.63	10.97	
	3		3.96	53.79	
	4		7.23	15.64	
Sólidos Totales	1	1056	936	11.36	
	2		714	32.39	
	3		276	73.86	
	4		958	9.28	
Sólidos Disueltos	1	908	930		
	2		688	24.23	
	3		268	70.48	
	4		888	2.20	
Sólidos Suspendidos	1	148	6	95.95	60
	2		26	82.43	
	3		8	94.59	
	4		70	52.70	
Grasas y Aceites	1	43	2	95.35	10
	2		2	95.35	
	3		2	95.35	
	4		2	95.35	
D.B.O5.	1	145	105	27.59	80
	2		38	73.79	
	3		7	95.17	
	4		35	75.86	
D.Q.O.	1	312	119	61.86	250
	2		212	32.05	
	3		54	82.69	
	4		215	31.09	

Fuente: elaboración propia

4.1.1 pH y Temperatura.

El pH, así como la temperatura, son factores importantes principalmente porque dan las condiciones de vida, reproducción, locomoción y crecimiento de las lombrices. Estos dos factores junto con la humedad, son fundamentales para que el sistema funcione bien en la medida en que las lombrices son los obreros principales del proceso de tratamiento.

En el trabajo de estudio del lombrifiltro, se registraron temperaturas del agua que se encuentran dentro del rango especificado en el marco teórico del presente proyecto de tesis (de 25°C a 33°C).

Es importante mencionar en el presente trabajo, el desarrollar un estudio del lombrifiltro variando las condiciones de temperatura y estudiar de esta manera la incidencia de los cambios térmicos sobre la eficiencia en el lombrifiltro, dato muy importante, para que el mismo sea aplicado en otras regiones geográficas de nuestro país.

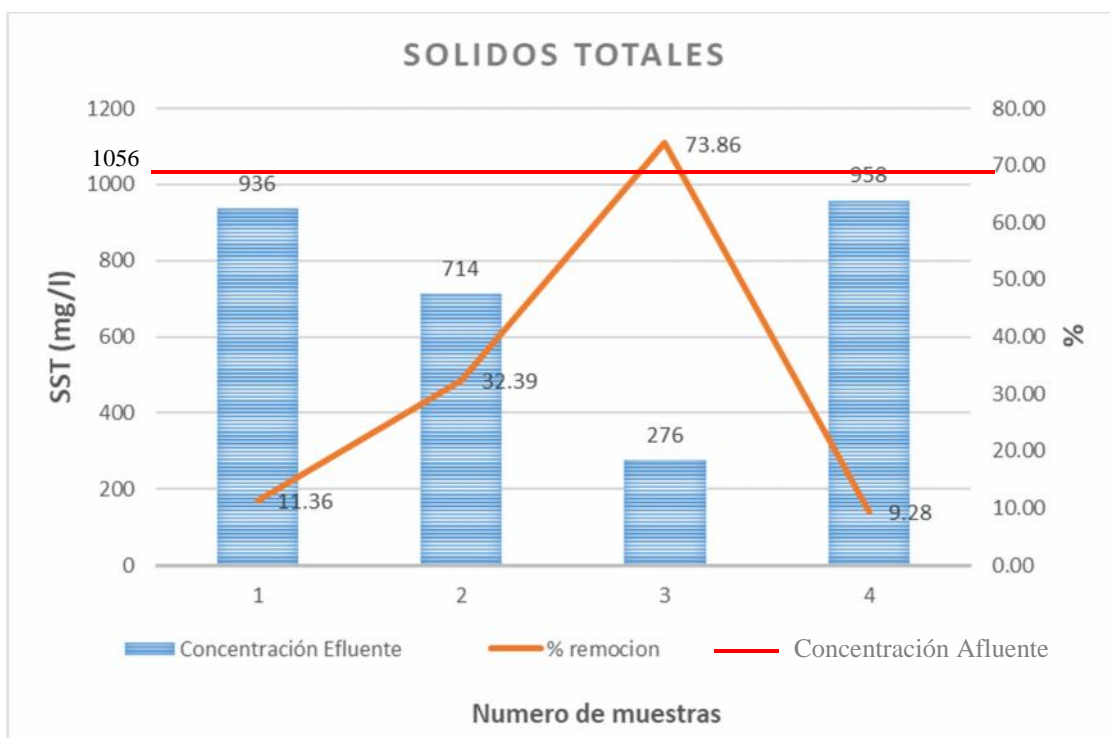
En cuanto al pH, es otro parámetro muy importante de equilibrio; aunque los datos registrados en la tabla 4.1 demuestran que no existe una variación sustancial de pH, pero sería comprobar cuales son los rangos bajo los cuales las lombrices trabajan en el lombrifiltro ya que no se tiene datos de ello y es un factor fundamental para la vida de las lombrices. En otros países, el lombrifiltro es utilizado para aguas provenientes de industrias, debido a las grandes variaciones de pH que las industrias generan debido a los procesos y sustancias que requieren en su sistema de producción.

Aunque los valores de pH no se encuentran dentro del reglamento de la ley N.º 1333 (ver Anexo B-I), no son valores alejados del valor recomendado ya que en la mayoría de los casos se encuentran muy cercanos al valor neutro (7), generalmente con tendencia ligeramente alcalina, por lo cual convendría acidificar un poco el agua tratada antes de que la misma sea dispuesta en el cuerpo receptor.

El reglamento N.º 1333 ley del Medio Ambiente, por otra parte, es bastante estricto en este parámetro por lo que no presenta un rango, sino un valor fijo. Si el agua se utilizaría para riego, los valores obtenidos serían positivos para muchas especies vegetales que corresponden a un análisis más extenso al respecto ya que requieren además un equilibrio adecuado con los otros parámetros, que serán mencionados en el próximo acápite.

4.1.2 Sólidos Totales.

Figura 4.1. Sólidos Totales de agua tratada y remoción



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.1., se realiza una comparación entre los sólidos totales (mg/l) y la eficiencia de la remoción en la planta piloto, para el afluente (agua servida que ingresa) y efluente (agua tratada que sale) del lombrifiltro. Se puede observar, que existe una variación marcada de un periodo a otro en el agua tratada.

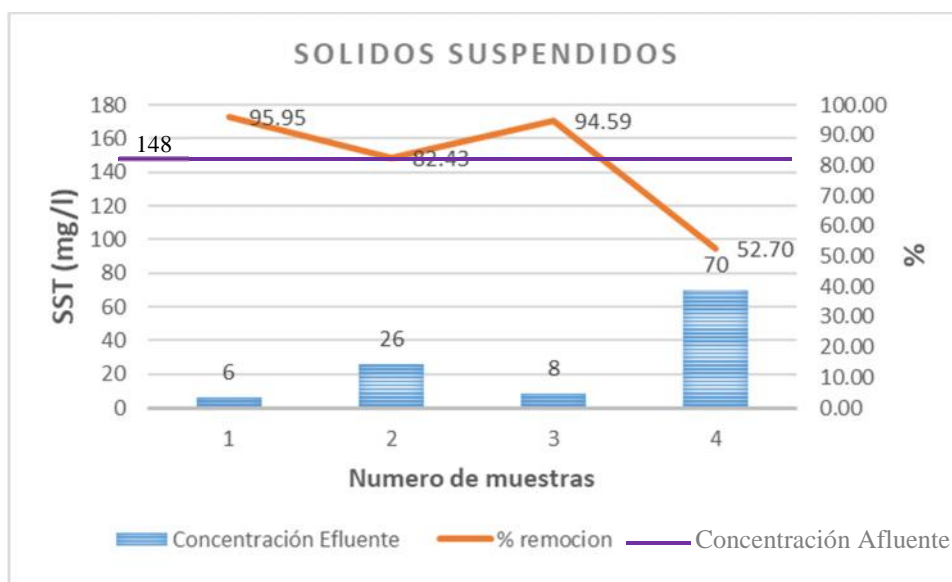
Debe notarse que la cuarta medición en fecha 07/05/19. la remoción es baja, a comparación con la tercera medición en fecha 16/04/19, tiene una remoción de 73.86%. ya que al aumentar el caudal (detectándose mayor compacidad de este lecho en la fase de operación de la planta), dichos datos fueron distorsionados involuntariamente.

Por otro lado, se debió realizarse el cambio de la capa activa, ya que las lombrices se multiplicaron y generaron humus, previamente debido a que no existiese de aserrín para retener la carga orgánica del agua servida, para futuras investigaciones se tome este parámetro a considerar para que no varíen tanto para la obtención de resultados.

4.1.3 Sólidos Suspendidos.

Los resultados muestran que la planta de tratamiento reduce la concentración de Sólidos Suspendidos. De igual forma, se observan ciertas variaciones atribuibles al tipo de aserrín. Esta ligera inestabilidad demuestra nuevamente la necesidad de estudiar el tipo de aserrín más óptimo para poder utilizarlo como sustrato de desenvolvimiento de las lombrices.

Figura 4.2. Eficiencia de Solidos Suspendidos Totales



Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la Figura 4.2, los mejores resultados se obtienen en los tres primeros análisis, Se puede notar que, si el problema se trata de la capa activa, sería posible minimizar el mismo mediante un cambio y lavado del aserrín, previo o hacer circular agua que lleve las partículas de aserrín presentes inicialmente, de todas maneras, de acuerdo a los resultados de color obtenidos, el aserrín debería ser preferiblemente de madera blanca sin contenido de muchos finos. Este proceso debería ser llevado a cabo en consecuencia en el período de puesta en marcha del sistema (antes de su colocación y la siembra de lombrices).

4.1.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Se trata de uno de los parámetros más importantes del trabajo ya que mide la cantidad de oxígeno consumido por componentes orgánicos en el agua, éste es uno de los parámetros que brinda mejores

resultados de tratamiento para el estudio del lombrifiltro, registrándose además una estabilidad en los resultados obtenidos del efluente de la planta piloto:

En el primer análisis se alcanza una remoción del 27.59% de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas servidas, logrando una concentración del final de 105 mg/l de DBO₅, valor superior al límite máximo permisible para la descarga de residuos líquidos. Es importante mencionar que dicha muestra es tomada una 2 semana después de la puesta en marcha de la planta piloto.

En el segundo análisis la remoción fue del 73.97%, eficiencia superior al primer análisis y valor inferior al máximo permisible para descargas líquidas. La eficiencia del lombrifiltro varía diariamente debido a las características y caudal del afluente a tratar.

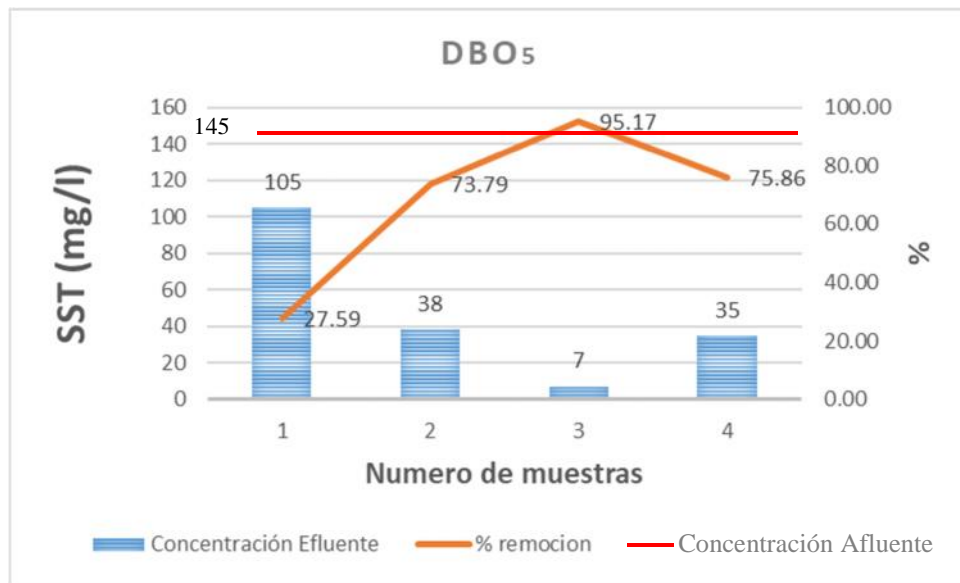
El tercer análisis reporta una eficiencia del 95.17% en la remoción de la materia orgánica biodegradable, alcanzando una concentración final de 7 mg/l, valor inferior al máximo permisible para descargas líquidas.

Los valores obtenidos muestran un tratamiento bastante eficiente de la materia orgánica contaminante, y es posible catalogar este tipo de agua como apta para ser descargada en cuerpos receptores. Para comprobar esto, es posible remitirse al reglamento de la Ley de Medio Ambiente N.º 1333, en su acápite Anexo 2 límites permisibles para descargas líquidas, admite los valores que se observan en la Figura 4.3.

Los macroorganismos (lombrices) como los microorganismos, cumplen la función de degradar o consumir naturalmente los contaminantes del agua y por tanto se convierte en un sistema equilibrado donde existe una simbiosis de organismos que realizan la misma función por su necesidad de sobrevivir.

Asimismo, se comprobó visualmente que las partículas sólidas que caen sobre el lombrifiltro superiores a 2 mm, son digeridas por las lombrices sin presentar problema alguno, demostrando con esto que es posible realizar un tamizado menos riguroso y sin el proceso de sedimentación, las partículas son consumidas por las lombrices sin descuidar el tratamiento del agua residual misma.

Figura 4.3. Eficiencia de agua tratada -Demanda Biológica de Oxígeno



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La DQO mide la cantidad de oxígeno consumido por componentes orgánicos e inorgánicos en el agua. Es otro parámetro de gran importancia en el estudio, y por la comodidad y rapidez de obtención de resultados, se convierte en el parámetro más importante y brinda resultados representativos del grado de tratamiento obtenido.

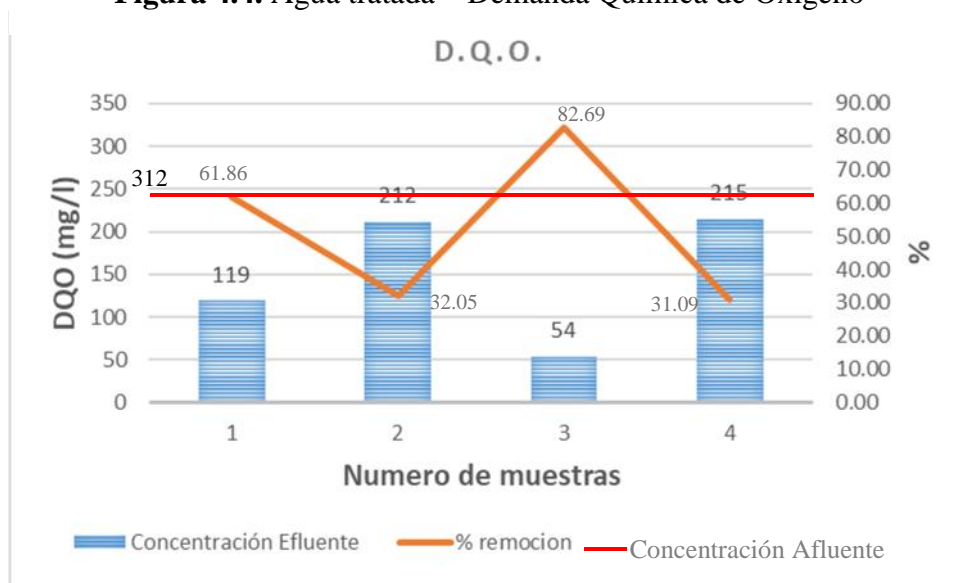
En el primer análisis se alcanza una remoción del 61.86% de la materia orgánica químicamente oxidable, logrando una concentración final de 119 mg/l, valor inferior al límite máximo permisible para la descarga de residuos líquidos. Es importante mencionar que dicha muestra es tomada unas 2 semanas después de la puesta en marcha de la planta piloto.

En el segundo análisis la remoción fue del 32.05%, eficiencia inferior al primer análisis. La eficiencia del lombrifiltro varía diariamente debido a las características y caudal del afluente a tratar.

El tercer análisis reporta una eficiencia del 82.69 % en la remoción de la materia orgánica químicamente degradable, alcanzando una concentración final de 54 mg/l, valor inferior al máximo permisible para descargas líquidas, como se observa en la Figura 4.4, lo cual nos muestra una vez más que el nivel alcanzado es apropiado para considerar al sistema como una alternativa de

tratamiento completa que permite alcanzar la calidad requerida para descargar en cuerpos receptores sin afectar significativamente su capacidad de autodepuración:

Figura 4.4. Agua tratada – Demanda Química de Oxígeno



Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Grasas y Aceites

En el primer análisis se logra una remoción del 95.35%. La concentración del efluente del segundo análisis es de menor a 2 mg/L, con una remoción del 95.35%, logrando un valor inferior al máximo permisible para descargas líquidas.

4.1.7 Otros parámetros de control.

Para realizar el control de otras características importantes de la unidad de tratamiento (Lombrifiltro), es necesario analizar otro tipo de parámetros, que indican el comportamiento de la unidad y su desempeño en la fase operativa. Aunque estos parámetros no requieren un análisis tan profundo como los anteriores, conviene mencionarlos para obtener algunas conclusiones al respecto.

4.1.7.1 Color.

Este es un parámetro de control organoléptico, que indica principalmente el tema estético del agua tratada. En muchas ocasiones el agua no se encuentra altamente contaminada, pero presenta coloraciones variadas, como es el caso de los resultados obtenidos, aunque visualmente se pudo notar que el color de entrada al lombrifiltro era característico de aguas residuales domésticas pero

el de salida no era igual, ya que presentaba una coloración propia de la madera, presumiblemente por el aserrín utilizado como sustrato principal de la capa activa (ver Figura 4.6.)

En el primer caso incluso se detecta un aumento de color en la muestra de agua, pero como se verá más adelante, este color es muy distinto al del agua que entra a la unidad de tratamiento.

Una recomendación importante a este nivel, sería llevar a cabo una selección más adecuada del tipo de madera, que en el presente caso se trata de conífera (como recomienda el marco teórico), pero que probablemente tendría que ser de conífera blanca o en su defecto con menor cantidad de finos (aspectos a comprobarse en estudios posteriores al respecto).

Al obtenerse estos niveles de color, valdría también la pena estudiar otro tipo de sustratos de desenvolvimiento para las lombrices, que no afecten tanto el color de salida del agua tratada.

4.1.7.2 Olor

Este es otro parámetro organoléptico importante, que se refiere a un aspecto tanto estético como también de contaminación para el cuerpo receptor.

En el caso del presente estudio, se pudo comprobar en todas las muestras de agua que sale del lombrifiltro, que la remoción de olor es total ya que no se detecta olor alguno en el agua tratada, mientras que por supuesto el agua de entrada emana olores muy fuertes que impiden acercarse a las aguas sin percibirlo de manera muy notoria e intensa.

En cuanto al proceso mismo de tratamiento, como se mencionó gracias a la presencia de oxígeno, no se generan olores alrededor de la planta piloto, y no se observaron vectores comunes (moscas, por ejemplo).

Aunque este parámetro no puede ser cuantificado o expresado numéricamente, la remoción de olor comprobada de manera organoléptica, es un resultado importante y positivo para el cuerpo receptor de las aguas tratadas por el lombrifiltro, para el medio ambiente y también para la aceptación de la comunidad que vive en zonas cercanas a plantas de tratamiento de aguas servida.

4.2 Resumen de los parámetros analizados en el afluente y efluente del lombrifiltro.

Límite Máximo Permisible, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida

causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible por la ley del Medio Ambiente Nro. 1333.

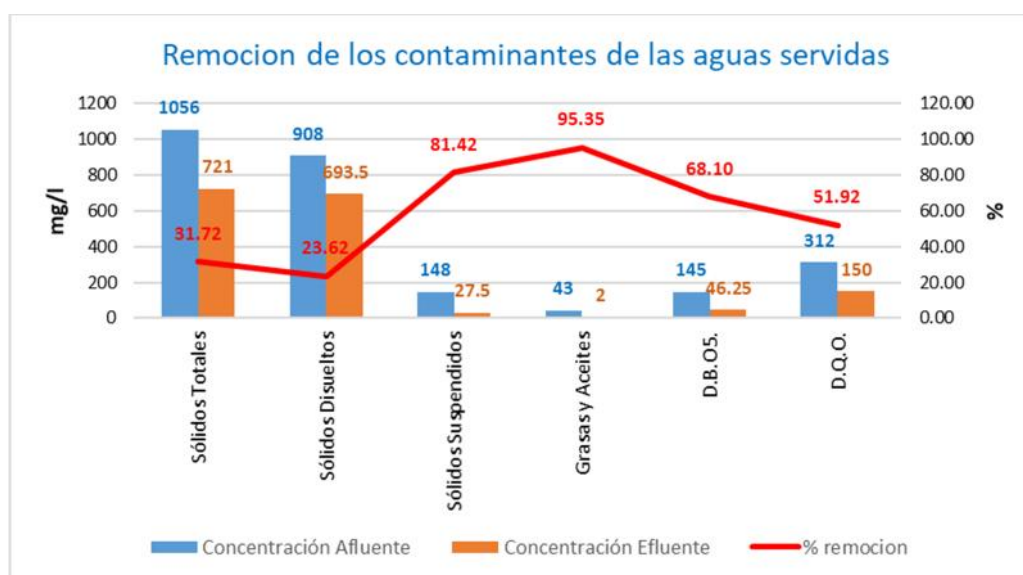
Los resultados obtenidos se compararon con los Límites Permisibles para descargas líquidas (ver Anexo B-I), los cuales se muestran en la tabla 4.2 y en la figura 4.5 se observa la remoción de las tasa cargas hidráulicas de aguas servidas .

Tabla 4.2. Comparación de los resultados obtenidos por los tratamientos con los Límites Máximo Permisible.

Parámetro	Unid.	Punto de medición		% remoción	Límites máximos permisibles
		Concentración Afluente	Concentración Efluente		Anexo A-2, Ley 1333
pH		8.57	6.6		6.9
Sólidos Totales	mg/l	1056	721	31.72	
Sólidos Disueltos	mg/l	908	693.5	23.62	
Sólidos Suspendidos	mg/l	148	27.5	81.42	60
Grasas y Aceites	mgO2/l	43	2	95.35	10
D.B.O5.	mgO2/l	145	46.25	68.10	80
D.Q.O.	mg/l	312	150	51.92	250

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5. Resumen de los resultados de análisis de agua servidas



Fuente: Elaboración propia

Los parámetros fisicoquímicos que se compararon con los límites máximos permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas servidas son: pH, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, aceites y grasas, los cuales presentaron valores muy por debajo de los límites de permisibilidad, aunque el tratamiento con *E. foetida* presento una buena eficiencia de remoción.

4.3 Resultado Final: agua tratada con el Lombrifiltro

Figura 4.6. Fotografía de agua cruda y tratada



Fuente: Elaboración propia

Un resultado importante, es la inspección visual al final del tratamiento. En la Figura 4.5 se puede ver una comparación entre el agua cruda y el agua tratada con el lombrifiltro. Aunque salta a la vista, en la imagen superior se tiene el agua servida de llegada y a la imagen inferior se puede observar el agua tratada con características de contaminación mucho menores a simple vista.

Este examen visual sumado a los resultados mencionados a lo largo del presente capítulo, permiten considerar al lombrifiltro como una alternativa de tratamiento y demuestran además la necesidad de estudiarlo con mayor detalle en otros aspectos para obtener mejores resultados.

Como se ve también el agua tratada aun no es muy transparente, aspecto mencionado en los resultados de color, pero también se nota que el color adquirido no es el mismo que el del agua de entrada (distorsionada quizás por la cantidad de sólidos presentes en la muestra).

Si bien es poco probable que una sola unidad de tratamiento alcance los niveles permitidos por norma para ser considerada agua de riego o para su descarga en cuerpos receptores. Sin embargo, el tratamiento biológico alcanzado por el lombrifiltro es significativo, por lo cual es necesario llevar a cabo una desinfección posterior y equilibrar ciertos parámetros como el pH antes de utilizarla para otros fines, realizando un control con las normas vigentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante las seis semanas de evaluación y considerando las condiciones de operación, se puede concluir, en principio, que el sistema sería capaz de resolver el tema de tratamiento de aguas residuales domésticas, por cuanto se presenta porcentajes de remoción considerables, aun sin considerar el efecto de la dilución, siendo absolutamente necesaria, la desinfección para obtener la calidad biológica exigida por la citada norma.

4.4 Estado de las lombrices al final del proyecto de investigación

4.4.1 Peso de lombrices

Como se observa en las fotografías de la figura 3.17, la tendencia en el tratamiento de aguas servidas fue el aumento sobre el peso promedio inicial de 0.49 gramos de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) a un promedio de 1.70 gramos, aumentando en 347 % de su peso inicial (tara peso de 8.34 gramos) a los seis meses de funcionamiento la planta piloto de lombrifiltro.

Figura 4.7. Peso de lombriz roja californiana



Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Desarrollo de su cuerpo de las lombrices rojas californianas (eisenia foetida)

En la figura 3.18 se observa que en estado adulto mide 12 cm a 18 cm de largo, con un color rojo oscuro, con un peso promedio de 1.70 gramos a una temperatura de 29 °C a 20 cm de profundidad de la superficie en la capa activa en la planta piloto de tratamiento de aguas servidas lombrifiltro.

Figura 4.8. Lombriz roja californiana adulta



Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Producción de Humus

Entre las pocas lombrices benéficas pueden considerarse como versátiles y rentables la lombriz roja californiana para la producción y calidad de humus como una alternativa de fertilización orgánica y equilibrio del medio ambiente. En las fotografías de la figura 4.9 se observa que el aserrín y viruta es transformada en humus, por lo tanto, es necesario retirar el humus y agregar otro sustrato de aserrín y viruta para el funcionamiento de la planta piloto de lombrifiltro.

Figura 4.9. Humus de lombriz roja californiana



Fuente: Elaboración propia

Como resultado, se encontraron diferencias altamente significativas, tanto en la relación del peso de la población de la lombriz roja californiana y la transformación de materia orgánica, aserrín y viruta en humus. Esto indica que inicialmente que las lombrices estaban en condiciones buenas. Se observa en la figura 4.7, que su peso inicial promedio es de 0.49 gramos, después de 6 meses aumento en promedio a 1.70 gramos en un 347 % de su peso inicial, las diferencias observadas en la figura 4.7, se atribuye a su adaptación al medio con una temperatura de 29 °C y al consumo de materia orgánica provenientes de las aguas servidas, aserrín y viruta. Como consecuencia llegaron a medir las lombrices adultas hasta 18 cm como se observa en la figura 4.8.

Por otro lado, son excelentes transformadores de aserrín, viruta y materia orgánica provenientes de las aguas servidas en humus, como se observa en la figura 4.9, debido considerablemente al aumento de la población de lombrices. Debido al comportamiento de la lombriz no se pudo calcular la tasa de población en el lombrifiltro, como también no fue posible definir si las lombrices murieron durante los horqueteos o durante el funcionamiento en el transcurso de los seis meses. Lo que si fue evidente es que al realizar horqueteo en la capa activa, se observó visiblemente de 20 a 30 lombrices sobre la superficie de la capa activa.

Por lo tanto, las lombrices se adaptan a la realidad en estas regiones de la amazonia y estos resultados sugieren, la necesidad de retirar el humus y agregar otro sustrato de aserrín y viruta para el funcionamiento de la planta piloto del lombrifiltro.

4.5 Aplicaciones del lombrifiltro

Las tasas de diseño consideradas para el tratamiento de aguas servidas, dependen de la cantidad de contaminación que presentan, se tomó como referencia el estudio de (Lourenco & Nunes, 2017) el cual dice que la mayor eficiencia en remoción de contaminantes se encuentra con una tasa de carga hidráulica (HLR) de:

$$E_{lo} = 0.89 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ t}_1 * 1 \text{ m}^2 \text{ e} \text{ o} \text{ d} \text{ lo} \text{ r} \text{ i}$$

- Para una descarga de aguas servidas de 150m³/día se requiere 300 m². (Hernández, Y. 2005)
 -) DBO₅ = 1.757 mg/L
 -) pH = 7.4
 -) Solidos Suspendidos Totales = 450 mg/L

$$E_{lo} = 1 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ agu} \text{ tra} * 2 \text{ m}^2 \text{ e} \text{ d} \text{ lo}$$

- Para una descarga de aguas servidas de 160 m³/día se requiere 400 m². (Hernández, Y. 2005)
 -) DBO₅ = 2100 mg/L
 -) pH = 6.8
 -) Solidos Suspendidos Totales = 385 mg/L

$$E_{altilt} = 1 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ t}_1 * 2.5 \text{ m}^2 \text{ e} \text{ d} \text{ lo}$$

La estructura en que está contenida la población de lombrices y microorganismos, aserrín, gravilla y bolones o grava chancada es un muro de albañilería confinada y el Lombrifiltro será dividido en módulos para disminuir las cargas estructurales sobre sus paredes. Debe contar con una losa de hormigón armado con doble fondo y el sistema de drenaje inferior suficientemente resistentes para soportar el peso del medio, de la película biológica, y del líquido residual, donde el drenaje consiste en la evacuación del líquido a través de las pendientes que contiene el fondo del estanque para luego derivar a la cámara de irradiación ultravioleta en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas para ser descargado el líquido tratado hasta el curso de agua pluvial.

- **Aguas servidas.**

-) Casas particulares
-) Colegios
-) Villorrios (población pequeña y poco urbanizada)
-) Industrias
-) Pequeñas y medianas poblaciones

- **Residuos Industriales líquidos**

-) Agroindustrias
-) Empresas lácteas y lecherías
-) Mataderos de: bovinos, ovinos, aves, cerdos, salmones
-) Industrias de alimentos
-) Industrias cervecera y vitivinícolas (agricultura)
-) Piscicultura y otras

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Por la experiencia adquirida en este proyecto de investigación, se puede concluir que es factible el tratamiento de aguas servidas en la Unidad Educativa Fe y Alegría, ya que la inversión no es excesiva y requiere poco tiempo para llevar a cabo su construcción e instalación para que empiece a operar el lombrifiltro.
- Como se pudo observar en el presupuesto es bajo, ver tabla 3.5. técnicamente y económicamente es un proyecto sumamente viable, el mayor gasto económico radica en la inversión inicial para la implementación de la planta piloto del lombrifiltro.
- Realizado la construcción de la planta piloto de tratamiento de aguas servidas aplicando lombricultura en la Unidad Educativa Fe y Alegría, se establecen conclusiones que nos permitan cumplir con la hipótesis trazado en un comienzo, como el proyectar las obras de construcción del sistema para el tratamiento de aguas servidas para poblaciones pequeñas en el departamento de pando.
- En el presente proyecto, tesis de grado, se diseñó, opero y se evaluó un sistema de tratamiento de aguas servidas, mediante la construcción de una planta piloto de lombrifiltro, instalada en la Unidad Educativa Fe y Alegría, se concluye que, en los efluentes, se alcanzó porcentajes de eficiencias de remoción de los parámetros físico químico y bioquímicos satisfactorios. La remoción promedio de $DBO_5 = 68.10\%$, $DQO = 51.92\%$, aceites y grasas = 95.35 y sólidos suspendidos = 81.42%.
- Los parámetros DBO_5 , DQO , Sólidos Suspendidos, presentan valores que cumplen con los parámetros permisibles por la Ley del Medio Ambiente N°1333 para descargas líquidas. Los valores obtenidos demuestran que es posible alcanzar niveles de remoción importantes en los parámetros convencionales de contaminación, lo que posibilita considerar hoy en día al lombrifiltro como una opción más para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico.

- La eficiencia del sistema tiende a crecer en la medida en que las lombrices se encuentren más acostumbradas al medio de desenvolvimiento, para lo cual es necesario brindarles condiciones de humedad óptima, alimento, pH y fundamentalmente poca luz al interior del lombrifiltro.
- Aunque hoy en día se cuenta solamente con datos empíricos para el diseño y construcción de plantas de este tipo y en lo que se refiere la planta piloto de lombrifiltro cumple con los requisitos de diseño necesarios para su aplicación, fruto de ello se pudieron obtener detalles y características constructivas importantes.
- Si se analiza los objetivos trazados al comenzar el estudio, podemos concluir que la evaluación del Lombrifiltro mediante el uso de la planta piloto a escala de laboratorio, fue satisfactoria y abre las puertas para otros estudios al respecto.
- Entre los aspectos positivos puntuales que se pudieron observar en el funcionamiento del lombrifiltro, es posible citar el hecho de que no genera lodos inestables producto de la descomposición de materia orgánica ya que los degrada de manera natural, sin embargo, genera humus orgánico como fertilizante, en consecuencia, es posible simplificar la parte concerniente al tratamiento primario, lo cual significara un ahorro en costo, espacio y tiempo principalmente. Para plantas de gran tamaño, el uso de esta unidad significaría un ahorro considerable y una menor contaminación fundamentalmente por este aspecto.
- Durante el tiempo de estudio, no se generaron malos olores, por lo tanto, es posible aplicarlo próximos a centros poblados, ya que no generaría molestias para los habitantes que se encuentran establecidos cercanos a una planta de tratamiento de este tipo.
- Otro aspecto importante a rescatarse, es acerca de la manipulación de la unidad, que es relativamente sencilla por lo cual no requiere de personal altamente especializado para realizarla este aspecto incide en costos de operación y mantenimiento, muy importantes para plantas de tipo convencional.

5.2. Recomendaciones

- La principal recomendación del presente estudio indica la necesidad de llevar más adelante el análisis de la unidad, haciendo énfasis en otras características que permitan un uso adecuado de la misma (alturas de estratos, cantidad de lombrices, temperaturas y otros factores).
- Otra recomendación a tomarse en cuenta, nace en el hecho de que el Lombrifiltro genera además, subproductos benéficos como ser el humus (fecas de lombrices que sirven como fertilizante o abono para el suelo) y un exceso de lombrices que podría servir como alimento para aves y/o peces (por su alto valor en proteínas), aspectos a estudiarse con mayor detalle para cuantificar y cualificar sus características, pero que serían muy importantes para el sector agrícola además de una reutilización de las aguas efluentes del lombrifiltro para riego.
- Se debe considerar que el aserrín a utilizarse como sustrato de desenvolvimiento de las lombrices, debe ser mejor estudiado y seleccionado, ya que como pudo observarse, éste es un parámetro de importante incidencia tanto para los sólidos que salen de la unidad, como para el color del agua tratada. Una sugerencia importante para aplicarla o estudiarla más a fondo es la posibilidad de realizar un “cernido” del aserrín a utilizarse previamente a su colocación en el Lombrifiltro, y por otro lado utilizar preferentemente madera blanca proveniente de coníferas como se recomienda en la parte teórica del presente trabajo (pino, por ejemplo). De cualquier manera, éste es otro parámetro importante a estudiar de la unidad.
- se recomienda que los porcentajes de finos en el aserrín no excedan el 20% mencionado ya que afectan en gran medida los resultados obtenidos se debe realizar un control de la humedad de los módulos, verificando que se encuentre entre el 80 -85% de lo contrario las lombrices tienden a salirse del lombrifiltro.
- Se debe realizar un control diario de la temperatura, pH y oxígeno disuelto del afluente y efluente del lombrifiltro, por lo que la planta de tratamiento debe contar con un termómetro, un pHmetro y un medidor de oxígeno disuelto.
- Para poder obtener un óptimo color en el agua residual se recomienda el uso de emplear una capa de arena para poder remover de forma adecuada los aceites y grasas presentes, asimismo

al final del lombrifiltro colocar una capa o filtro de carbón activado para que exista mayor retención de sólidos disueltos.

- Se recomienda retirar la capa del abono producido (Humus de Lombriz) cada seis meses.
- se realizó una comprobación visual del sistema dos meses después de encontrarse sin funcionamiento, y se pudo observar que las lombrices seguían vivas tan solo con el agua de lluvia y con el aserrín como alimento.
- En cuanto al período de puesta en marcha, es posible citar que no es demasiado extenso ya que el sistema se puede comenzar a aplicar luego de unas dos semanas, a diferencia de otros sistemas que pueden tardar varios meses.
- Por otro lado, al funcionar por unidad de superficie, se podría estudiar la posibilidad de aplicar el sistema de manera modular (módulos), es decir ampliable de acuerdo a las necesidades de aplicación.
- Se debe promover el uso de sistemas no convencionales en el tratamiento de aguas servidas, el lombrifiltro es un claro ejemplo de la eficiencia de un tratamiento biológico.

CAPITULO 6

6. BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Libros, revistas y tesis consultadas

- **Alejandro, C. (2001).** Diseño y modelación de un sistema de alimentación para lombrifiltro. Paraguay: Universidad Paraguayo Alemana.
- **Bouché, M & Soto, P. (2004).** An industrial use of soil animals for environment: the treatment of Polluted Water by Lumbrifiltration”, Montpellier, Francia.
- **Calvache W., Chávez M. & Duran C. (2002).** Tratamiento de aguas: tratamiento primario y parámetros hidráulicos I. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Sánchez, J. (2008). Flujo en medios porosos: Ley de Darcy. (Universidad Salamanca, Dpto Geología. España).
- **Guevara, C.** Diagnóstico situacional y propuesta para el proyecto: tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, mediante un lombrifiltro en Celendín. Perú: Universidad Nacional De Universidad Nacional De Cajamarca “Norte De La Universidad Peruana.
- **Lourenco, N., & Nunes, L. M. (2017).** Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. Ecological Engineering.
- **Marcelo, J. (2004).** Estudio de factibilidad de la aplicación del sistema Toha en la planta de tratamiento de aguas servidas de valdivia. Chile: Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles.
- **Metcalfe & Eddy. (1998).** Biological Unit Process. In: Wastewater Engineering: Treatment, disposal, reuse. New York, McGraw Hill.
- **Manrique, E. (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.
- **Ministro de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.** Reglamento a la ley del Medio Ambiente N.º 1333, La Paz, Bolivia.
- **Pedroza, E. Nájera, R. Rivas, I.** Canal Parshall. México
- **River, G. (2005).** Plantas de tratamiento de aguas negras. U.M.S.A. IIS, La Paz – Bolivia.

- **Rolim, S. (2000).** Sistema de lagunas de estabilización. Santa Fe de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- **Ramalho, R. (1996).** Tratamiento de Aguas residuales”. Editorial Reverté, S.A. Barcelona.
- **Salazar, P. (2005).** Sistema Toha; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Chile: Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Construcción Civil.
- **Sinha, R. K., Bharambe, G., & Chaudhari, U. (2008).** Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. The Environmentalist.
- **Tello Solano, Y. L. (2016).** Análisis y optimización del sistema de riego por aspersión de la Junta Modular Achiliguango, parroquia Panzaleo, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, perteneciente al sistema de riego biprovincial Latacunga-Salcedo Ambato (Bachelor’s thesis, Universidad Técnica de Ambato).
- **Yessica, P. (2005).** Anteproyecto de construcción para Aplicación de lombricultura al Tratamiento de planta llallao de Salmonera invertec S.A. Chile: Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Construcción Civil.
- **Yanez, F. (1993).** Lagunas de estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento. Ecuador: Agua potable y Alcantarillado de Cuenca.

Bibliografías consultadas en internet.

- Tratamiento de aguas residuales
https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales
- TECNOLOGÍA DE DESINFECCIÓN UV
<https://www.lit-uv.com/es/technology/>
- SISTEMA TOHÁ – A.V.F.
<http://www.sistematoha.cl/>
- SENHAMI - 2018
<http://www.senamhi.gov.bo/archivos/INFORME%20METEOROLOGICO>.

ANEXOS

ANEXO A: “Planos de la Planta Piloto de lombrifiltro”

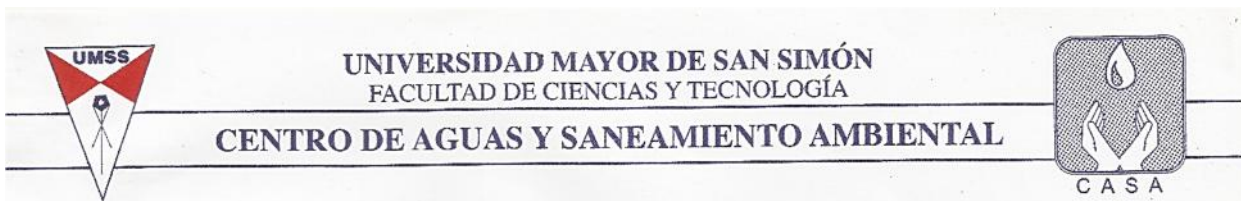
ANEXO B: “Tablas y normas consultadas”

ANEXO B-I: LIMITES PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS EN mg/lt. LEY 1333 (Anexo 2 de la ley)

NORMAS PARAMETROS	PROPUESTA	
	DIARIO	MES
Cobre	1.0	0.5
Zinc	3.0	1.5
Plomo	0.6	0.3
Cadmio	0.3	0.15
Arsénico	1.0	0.5
Cromo+3	1.0	0.5
Cromo +6	0.1	0.05
Mercurio	0.002	0.001
Fierro	1.0	0.5
Antimonio (&)	1.0	
Estaño	2.0	1.0
Cianuro libre (a)	0.2	0.10
Cianuro libre (b)	0.5	0.3
pH	6.9	6.9
Temperatura (*)	±5°C	±5°C
Compuestos fenólicos	1.0	0.5
Sólidos Susp.Totales	60.0	
Colifecales (NMP/100 ml)	1000	
Aceite y Grasas (c)	10.0	
Aceite y Grasas (d)	20.0	
DB05	80.0	
DQ0(e)	250.0	
DQ0(f)	300.0	
Amonio como N	4.0	2.0
Sulfuros	2.0	1.0

(*) Rango de viabilidad en relación a la Temperatura Media de cuerpo receptor (a). (c), (e) aplicable a descargas de procesos mineros e industriales en general (b). (d), y(f) Aplicable a descargas de procesos hidrocarburíferos (&). En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2500 Kg, se deberá reportar a la autoridad ambiental.

ANEXO C: "Reporte de ensayo fisicoquímico y microbiológico matriz agua servida"



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL
REPORTE DE ENSAYO FISICOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA RESIDUAL
 NUMERO DE REGISTRO: 50682-SC-38725
 NUMERO DE MUESTRA: 319/19

PRESTATARIO : EFRAIN MICHUA ALIAGA
 DIRECCIÓN TELEFONO : PANDO - 68042124

DATOS DE LA MUESTRA:
 DEPARTAMENTO : PANDO
 PROVINCIA : NICOLAS SUAREZ
 LOCALIDAD : VILLA BUSCH
 TIPO DE FUENTE : RESIDUOS DOMESTICOS LIQUIDOS
 PUNTO DE MUESTREO : SALIDA TANQUE
 LUGAR DE MUESTREO : COLEGIO
 PRESERVADA : SI
 TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL
 MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS RESULTADOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO	: 12/03/19	HORA DE MUESTREO	: 17:40
FECHA INGRESO LAB.	: 13/03/19	HORA INGRESO LAB.	: 17:30
FECHA DE ENSAYO	: 14/03/19	HORA ENSAYO	: 10:20
FECHA CONTROL	: 15/04/19	HORA CONTROL	: 18:00

RESULTADOS

ANALISIS FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	8,57

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
SÓLIDOS TOTALES	2540 B	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	1056,00
SÓLIDOS DISUELTOS	2540 C	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	908,00
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	2540 D	CALCULO	0,001	mg/L	148,00
GRASAS Y ACEITES	5520 D	EXTRACCION SOXHLET	2	mg/L	<2
D.B.O ₅	5210 B	DILUCION - WINKLER	2	mgO ₂ /L	145
D.Q.O.	5220 B	OXIDACION CON DICROMATO	2	mgO ₂ /L	312

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

FECHA DE CONTROL: 18/03/19 HORA DE CONTROL :08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	2,1 x 10 ⁶

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

ANALISIS DE RESULTADOS. La muestra puntual de agua residual analizada presenta elevada carga de bacterias termotolerantes.

Cochabamba, 18 de abril del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida
 RESPONSABLE LABORATORIOS CASA

Lic. MSc. Ana María Romero J.
 DIRECTORA



2 de 2

Agua es salud, ahorre y cuide su calidad

Calle Sucre frente al Parque La Torre, Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@fcyt.umss.edu.bo
 Pagina web: http://www.fcya.umss.edu.bo Casilla 5783



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL
REPORTE DE ENSAYO FISISQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA RESIDUAL

NUMERO DE REGISTRO: 50681-SC-38724
NUMERO DE MUESTRA: 318/19

PRESTATARIO : EFRAIN MICHUA ALIAGA
DIRECCIÓN TELEFONO : PANDO - 68042124
DATOS DE LA MUESTRA:
DEPARTAMENTO : PANDO
PROVINCIA : NICOLAS SUAREZ
LOCALIDAD : VILLA BUSCH
TIPO DE FUENTE : RESIDUOS DOMESTICOS LIQUIDOS
PUNTO DE MUESTREO : SALIDA LOMBRIAL
LUGAR DE MUESTREO : COLEGIO
PRESERVADA : SI
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL
MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS RESULTADOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO : 12/03/19 HORA DE MUESTREO : 17:40
FECHA INGRESO LAB. : 13/03/19 HORA INGRESO LAB. : 17:30
FECHA DE ENSAYO : 14/03/19 HORA ENSAYO : 10:20
FECHA CONTROL : 15/04/19 HORA CONTROL : 18:00

RESULTADOS

ANÁLISIS FISISQUÍMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO A 2, LEY 1333
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	7,58	6 a 9

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO A 2, LEY 1333
SÓLIDOS TOTALES	2540 B	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	936,00	-
SÓLIDOS DISUELTOS	2540 C	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	930,00	-
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	2540 D	CALCULO	0,001	mg/L	6,00	60
GRASAS Y ACEITES	5520 D	EXTRACCION SOXHLET	2	mg/L	<2	10
D.B.O ₅	5210 B	DILUCION - WINKLER	2	mgO ₂ /L	105	80
D.Q.O.	5220 B	OXIDACION CON DICROMATO	2	mgO ₂ /L	119	250

ANÁLISIS DE RESULTADOS.- La muestra puntual de agua residual analizada cumple con los límites máximos permisibles del Anexo A 2 del Reglamento del medio Ambiente No. 1333 para descargas líquidas.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

FECHA DE CONTROL: 22/03/19 HORA DE CONTROL : 08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO A 2, LEY 1333
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	1,0 x 10 ⁴	1000

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

ANÁLISIS DE RESULTADOS.- La carga de coliformes termotolerantes en la muestra puntual de agua residual analizada supera el valor límite permitido por el Reglamento del medio Ambiente No. 1333 para descargas líquidas

Cochabamba, 18 de abril del 2019
Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida RESPONSABLE LABORATORIOS CASA
Lic. MSc. Ana María Romero J. DIRECTORA
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

Agua es salud, ahorre y cuide su calidad



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL
REPORTE DE ENSAYO FISIQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA RESIDUAL
NUMERO DE REGISTRO: 50815-SC-38852
NUMERO DE MUESTRA: 450/19

PRESTATARIO : EFRAIN MICHUA ALIAGA
DIRECCION - TELEFONO : COMUNIDAD VILLA BUSCH A 10 Km DE COBIJA
DATOS DE LA MUESTRA:
DEPARTAMENTO : PANDO
PROVINCIA : NICOLAS SUAREZ
LOCALIDAD : VILLA BUSCH
TIPO DE FUENTE : RESIDUOS DOMESTICOS LIQUIDOS
PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE FINAL CON TRATAMIENTO
LUGAR DE MUESTREO : EFLUENTE FINAL DEL LOMBIFILTRO+
PRESERVADA : SI
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL
MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS RESULTADOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO : 02/04/19 HORA DE MUESTREO : 17:50
FECHA INGRESO LAB. : 03/04/19 HORA INGRESO LAB. : 18:40
FECHA DE ENSAYO. : 04/04/19 HORA ENSAYO : 10:50
FECHA CONTROL : 29/04/19 HORA CONTROL : 18:00

RESULTADOS

ANALISIS FISIQUÍMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
PH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	7,63	6 a 9

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
SOLIDOS TOTALES	2540 B	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	714,00	-
SOLIDOS DISUELTOS	2540 C	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	688,00	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS	2540 D	CALCULO	0,001	mg/L	26,00	60
GRASAS Y ACEITES	5520 D	EXTRACCION SOXHLET	2	mg/L	<2	10
D.B.O ₅	5210 B	DILUCION - WINKLER	2	mgO ₂ /L	38	80
D.C.O.	5220 B	OXIDACION CON DICROMATO	2	mgO ₂ /L	212	250

ANALISIS DE RESULTADOS.- La muestra puntual de agua residual analizada en los parámetros fisicoquímicos, cumple con el requisito establecido por el Rasim para el parámetro de coliformes termotolerantes en descargas líquidas.

ANALISIS MICROBIOLÓGICO FECHA DE CONTROL: 12/04/19 HORA DE CONTROL :08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL	LIMITES MAXIMOS ERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	8,6 x10 ⁶	1000

UFC = Unidad formadora de Colonias
M.F. = Membrana Filtrante

ANALISIS DE RESULTADOS

La muestra puntual de agua residual analizada, no cumple con el requisito establecido por el Rasim para el parámetro de coliformes termotolerantes en descargas líquidas.

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida
RESPONSABLE LABORATORIOS CASA.

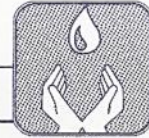
Cochabamba, de del 2019

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.
DIRECTORA
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



Agua es salud, ahorre y cuide su calidad

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@fcyt.umss.edu.bo
Pagina web: http://casa.fcyt.umss.edu.bo, Casilla 5783



CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL
REPORTE DE ENSAYO FISICOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA RESIDUAL

NUMERO DE REGISTRO: 50935-SC-38950
NUMERO DE MUESTRA: 571/19

PRESTATARIO : EFRAIN MICHUA ALIAGA
DIRECCION - TELEFONO : COLEGIO VILLA BUSH (FE Y ALEGRIA)

DATOS DE LA MUESTRA:
DEPARTAMENTO : PANDO
PROVINCIA : NICOLAS SUAREZ
LOCALIDAD : VILLA BUSCH
TIPO DE FUENTE : RESIDUOS DOMESTICOS LIQUIDOS
PUNTO DE MUESTREO : SALIDA DE TRATAMIENTO DE LOMBRIFILTRO
LUGAR DE MUESTREO : CAMARA DE COLEGIO
PRESERVADA : SI
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL
MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS RESULTADOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO : 16/04/19 HORA DE MUESTREO : 18:22
FECHA INGRESO LAB. : 17/04/19 HORA INGRESO LAB. : 16:50
FECHA DE ENSAYO : 17/04/19 HORA ENSAYO : 18:00
FECHA CONTROL : 06/05/19 HORA CONTROL : 18:00

RESULTADOS

ANALISIS FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
PH	4500- HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	3,96	6 a 9

OBSERVACIÓN: Se sospecha de una posible contaminación del frasco de pH.

Ciencia y Conocimiento DESDE 1932

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
SÓLIDOS TOTALES	2540 B	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	276,00	-
SÓLIDOS DISUELTOS	2540 C	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	268,00	-
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	2540 D	CALCULO	0,001	mg/L	8,00	60
GRASAS Y ACEITES	5520 D	EXTRACCION SOXHLET	2	mg/L	<2	10
D.B.O ₅	5210 B	DILUCION - WINKLER	2	mgO ₂ /L	7	80
D.Q.O.	5220 B	OXIDACION CON DICROMATO	2	mgO ₂ /L	54	250

ANALISIS DE RESULTADOS.- La muestra puntual de agua residual analizada, tiene pH ácido respecto a los límites máximos permisibles del Anexo 13 C del Rasim en descargas líquidas.

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

FECHA DE CONTROL: 22/04/19 HORA DE CONTROL : 08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL	LIMITES MAXIMOS ERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	1,5 10 ⁶	1000

UFC = Unidad formadora de Colonias
M.F. = Membrana Filtrante

ANALISIS DE RESULTADOS

La muestra puntual de agua residual analizada, no cumple con los límites máximos permisibles del Anexo 13 C del Rasim en descargas líquidas.

Cochabamba, 13 de mayo del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida
RESPONSABLE LABORATORIOS CASA.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.
DIRECTORA
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



Agua es salud, ahorre y cuide su calidad



CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL
REPORTE DE ENSAYO FISICOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA RESIDUAL
NUMERO DE REGISTRO: 51116-SC-39125
NUMERO DE MUESTRA: 751/19

PRESTATARIO : EFRAIN MICHUA ALIAGA
DIRECCION - TELEFONO : COMUNIDAD VILLA BUSCH A 10 Km DE COBIJA

DATOS DE LA MUESTRA:
DEPARTAMENTO : PANDO
PROVINCIA : NICOLAS SUAREZ
LOCALIDAD : VILLA BUSCH
TIPO DE FUENTE : RESIDUOS DOMESTICOS LIQUIDOS
PUNTO DE MUESTREO : SALIDA LOMBRIAL
LUGAR DE MUESTREO : COLEGIO
PRESERVADA : SI
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL
MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS RESULTADOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO : 07/05/19 HORA DE MUESTREO : 18:00
FECHA INGRESO LAB. : 08/05/19 HORA INGRESO LAB. : 18:00
FECHA DE ENSAYO : 09/05/19 HORA ENSAYO : 09:05
FECHA CONTROL : 28/05/19 HORA CONTROL : 18:00

RESULTADOS

ANALISIS FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
PH	4500- HB	ELECTROQUIMICO	0,10	-	7,23	6 a 9

Ciencia y Conocimiento DESDE 1824

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
SÓLIDOS TOTALES	2540 B	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	958,00	-
SÓLIDOS DISUELTOS	2540 C	GRAVIMETRICO 105°C	0,001	mg/L	888,00	-
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	2540 D	CALCULO	0,001	mg/L	70,00	60
GRASAS Y ACEITES	5520 D	EXTRACCION SOXHLET	2	mg/L	2	10
D.B.O ₅	5210 B	DILUCION - WINKLER	2	mgO ₂ /L	35	80
D.Q.O.	5220 B	OXIDACION CON DICROMATO	2	mgO ₂ /L	215	250

ANALISIS DE RESULTADOS.- La muestra puntual de agua residual analizada en los parámetros fisicoquímicos, cumple con el requisito establecido por el Rasim para el parámetro de coliformes termotolerantes en descargas líquidas.

ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

FECHA DE CONTROL: 14/05/19 HORA DE CONTROL : 08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL	LIMITES MAXIMOS ERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS ANEXO 13-C RASIM
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	8,6 x10 ⁶	1000

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

ANALISIS DE RESULTADOS

La muestra puntual de agua residual analizada, no cumple con el requisito establecido por el Rasim para el parámetro de coliformes termotolerantes en descargas líquidas.

Cochabamba, 30 de mayo del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida
RESPONSABLE LABORATORIOS CASA.

Lic. MSc. Ana María Romero J.
DIRECTORA
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



1 de 1

Agua es salud, ahorre y cuide su calidad

ANEXO D: “Fotografías de la planta piloto”

FOTOGRAFÍAS



Foto N°1 Estudio topográfico en el área de construcción del lombrifiltro



Foto N°2 Excavación y tendido de tubería PVC de 4”



Foto N°3 Excavación y construcción del tanque de almacenamiento



Foto N°4 Capas de Piedra, BRITA y malla de 2 mm electrosoldado



Foto N°5 Capas de aserrín y viruta en el lombrifiltro



Foto N°6 Lombrices Rojas Californianas y tubería de riego por sistema de goteo al lombrifiltro



Foto N°7 Protección a las tuberías de PVC que llevan las aguas crudas al lombrifiltro



Foto N°8 Toma de Muestra puntual en el afluente del lombrifiltro de agua cruda



Foto N°9 Toma de Muestra puntual en el efluente del lombrifiltro de agua tratada



Foto N°10 Agua cruda en el lombrifiltro y agua tratada en el efluente del lombrifiltro